



# **Desarrollo de un Simulador de Vida Artificial**

**Para el estudio de la evolución de  
Comportamientos Sociales**

Julio Vadillo Muñoz  
Ingeniería Informática  
100033175

*(Esta página fue dejada en blanco intencionalmente)*

# Índice

<b>Índice .....</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>iv</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>v</b>
<b>1 Estado del Arte.....</b>	<b>1</b>
1.1. Vida Artificial.....	1
1.1.1. Simuladores de organismos digitales/vida artificial.....	6
<b>2 Motivaciones y situación en el contexto.....</b>	<b>9</b>
2.1. Comparación con vida artificial .....	9
2.2. Motivaciones .....	10
<b>3 Lógica del juego.....</b>	<b>11</b>
3.1. Mundo .....	11
3.1.1. Parámetros globales .....	11
3.1.2. Umbrales de alarmas .....	13
3.1.3. Generación de la vegetación .....	13
3.2. Especies .....	14
3.2.1. Características de los individuos .....	15
3.2.2. Generación de los individuos .....	19
3.3. Individuos.....	21
3.3.1. Control del estado .....	22
3.3.2. Alarmas .....	23
3.4. Inteligencia Artificial del simulador.....	24
3.4.1. Entidades animales: Individuos.....	25
3.4.2. Entidades vegetales .....	33
3.4.3. Entidades inertes: cadáveres .....	34
3.4.4. Organigramas de la toma de decisiones .....	34
<b>4 Usabilidad.....</b>	<b>38</b>
<b>5 Experimentación .....</b>	<b>46</b>
5.1. Entorno de pruebas.....	46
5.2. Resultado de la experimentación.....	50
5.2.1. Pruebas sobre las características físicas .....	51
5.2.2. Pruebas sobre las características psicológicas.....	60
<b>6 Conclusiones y futuro .....</b>	<b>76</b>

## **Lista de tablas**

Tabla 5.1 Experimentación del alcance – agudeza visual .....	52
Tabla 5.2 Experimentación de resistencia-fuerza-velocidad.....	54
Tabla 5.3 Experimentación de esperanza de vida – descendencia .....	57
Tabla 5.5 Experimentación de la agresividad .....	61
Tabla 5.6 Experimentación de la gula .....	63
Tabla 5.7 Experimentación de la lujuria .....	65
Tabla 5.8 Experimentación de la sociabilidad.....	67
Tabla 5.9 Experimentación de la pereza.....	69
Tabla 5.10 Experimentación del liderazgo .....	71
Tabla 5.11 Experimentación de la valentía .....	74

## Lista de Figuras

Figura 3.4.4.1 Organigrama de la toma de decisiones (básico).....	35
Figura 3.4.4.2 Organigrama de la toma de decisiones (comportamiento normal) .....	36
Figura 3.4.4.3 Organigrama de la toma de decisiones (alarmas) .....	37
Figura 5.1.1 Individuos generados – alcance/agudeza visual.....	52
Figura 5.1.2 Turnos sobrevividos – alcance/agudeza visual.....	53
Figura 5.2.1 Individuos generados – resistencia/fuerza/velocidad.....	55
Figura 5.2.2 Turnos sobrevividos - resistencia/fuerza/velocidad .....	55
Figura 5.3.1 Individuos generados – esperanza de vida/descendencia .....	57
Figura 5.3.2 Turnos sobrevividos - esperanza de vida/descendencia .....	57
Figura 5.4.1 Individuos generados – alimentación.....	59
Figura 5.4.2 Individuos generados – alimentación.....	59
Figura 5.5.1 Individuos generados – agresividad.....	61
Figura 5.5.2 Turnos sobrevividos – agresividad.....	62
Figura 5.6.1 Individuos generados – gula .....	64
Figura 5.6.2 Turnos sobrevividos – gula .....	64
Figura 5.7.1 Individuos generados – lujuria .....	66
Figura 5.7.2 Turnos sobrevividos generados – lujuria .....	66
Figura 5.8.1 Individuos generados – sociabilidad .....	68
Figura 5.8.2 Turnos sobrevividos – sociabilidad .....	68
Figura 5.9.1 Individuos generados – pereza .....	70
Figura 5.9.2 Turnos sobrevividos – pereza .....	70
Figura 5.10.1 Individuos generados – liderazgo .....	72
Figura 5.10.2 Turno sobrevividos – liderazgo .....	72
Figura 5.11.1 Individuos generados – valentía .....	74
Figura 5.11.2 Turno sobrevividos – valentía .....	74

# 1 Estado del Arte

En esta sección expondremos rápidamente los principios históricos de la vida artificial y mostraremos los ejemplos más representativos de lo que resulta actualmente más puntero en esta disciplina.

## 1.1. Vida Artificial

La vida artificial es el estudio de la vida y de los sistemas artificiales que exhiben propiedades similares a los seres vivos, a través de modelos de simulación. El científico Christopher Langton fue el primero a utilizar el término a fines de los años 1980 cuando se celebró la "International Conference on the Synthesis and Simulation off Living Systems" ("Primera Conferencia Internacional de la Síntesis y Simulación de Sistemas Vivientes") también conocida como "Artificial Life I" ("Vida Artificial I") en los Alamos National Laboratory en 1987. En inglés también se conoce como alife, por la contracción de "artificial life".

Aunque el estudio de vida artificial tiene alguna superposición significativa con el estudio de inteligencia artificial (IA), los dos campos son muy diferentes en su historia y métodos. La investigación de IA organizada empezaba temprano en la historia de calculadoras digitales, y se caracterizaba a menudo en aquellos años por una enfoque "de arriba abajo" (top-down) basada en redes complejas de reglas. Los estudios de vida artificial no tuvieron un campo nada organizado hasta los años 80, y a menudo trabajaban de forma aislada, sin conocer de otros que hacían trabajos similares. Si en alguna ocasión se preocupaban por la inteligencia, los investigadores tendían a centrarse en la natura "de abajo arriba" (bottom-up) de conductos emergentes.

Los investigadores de vida artificiales se han dividido a menudo en dos grupos principales (aunque otras clasificaciones son posibles):

La posición de vida artificial dura/fuerte manifiesta que "la vida es un proceso que se puede conseguir fuera de cualquier medio particular". (John Von Neumann). Tom Ray (un ecologista que creó y desarrolló el proyecto Tierra, una simulación por ordenador de

vida artificial) declaraba que su programa Tierra no estaba simulando vida en un ordenador, sino que la estaba sintetizando.

La posición de vida artificial débil niega la posibilidad de generar un "proceso de vida" fuera de una solución química basada en el carbono. Sus investigadores intentan en cambio imitar procesos de vida para entender aspectos de fenómenos sencillos. La manera habitual es a través de un modelo basado en agentes, que normalmente da una solución posible mínima. Esto es: "no sabemos qué genera este fenómeno en la naturaleza, pero podría ser algo tan simple cómo... "

El campo se caracteriza por el uso extenso de programas informáticos y simulaciones que incluyen cálculo evolutivo (algoritmos evolutivos, algoritmos genéticos –GA por el inglés Genetic Algorithm –, programación genética, inteligencia de enjambre, optimización de colonias de hormigas), química artificial, modelos basados en agentes, y autómatas celulares (CA del inglés Cellular Automata). A menudo aquellas técnicas se ven como subcampos de la vida artificial. Además de artículos técnicos en los temas que son aceptados en conferencias de vida artificial hasta que su campo haya crecido lo suficiente para celebrar sus propias conferencias. Como tal, a lo largo de los años, la vida artificial también ha trabajado como término genérico provisional para técnicas diferentes que no se aceptarían en otros campos.

La vida artificial es un punto de reunión para gente de otros muchos campos más tradicionales como lingüística, física, matemáticas, filosofía, informática, biología, antropología y sociología en los cuales se puede hablar de enfoques computacionales y teóricos inusuales que serían controvertidas dentro de su propia disciplina. Como campo, ha tenido una historia controvertida; John Maynard Smith criticaba el 1995 algunos trabajos de vida artificial como "ciencia libre de hecho", y no ha recibido generalmente demasiada atención de los biólogos. Aun así, la publicación recientes de artículos de vida artificiales en revistas ampliamente leídas como Science y Nature es evidencia que las técnicas de vida artificial se están volviendo más aceptadas en la línea central, como mínimo como método que estudia la evolución.

Los orígenes de esta ciencia se encuentran alrededor de los años 50. Uno de los primeros pensadores de la edad moderna que previó los potenciales de la vida artificial,

separada de inteligencia artificial, era el prodigio matemático e informático John Von Neumann. En el Simposio Hixon, ofrecido por Linus Pauling en Pasadena, California a finales de los años 40, Von Neumann hizo una conferencia titulada "The General and Logical Theory of Automata" ("La Teoría General y Lógica de Automatas"). Definía un "autómata" como cualquier máquina cuyo comportamiento provenía de la lógica, paso a paso, combinando información desde el ambiente y su propia programación, y decía que al final se encontrarían organismos naturales que siguieran reglas simples similares. También habló sobre la idea de máquinas que se auto duplican. Presuponía una máquina – un autómata cinemático – constituida por un ordenador de control, un brazo de construcción, y gran conjunto de instrucciones. Utilizando las instrucciones que eran parte de su propio cuerpo, podría crear una máquina idéntica. Siguiendo esta idea creó (con Stanislaw Ulam) autómatas puramente lógicos, no exigiendo un cuerpo físico sino basado en los estados que cambian de las células en una red infinita. El primer autómata celular fue extraordinariamente mucho más complicado que posteriores autómatas celulares. Tenía cientos de miles de células que podían existir cada una en uno de veintinueve estados, pero Von Neumann pensaba que necesitaba esta complejidad para conseguir que funcionara no sólo como una máquina auto replicante, sino que también como una computadora universal tal y como definió Alan Turing. Este "constructor universal" leía de una cinta de instrucciones y escribía una serie de células que podían ser activadas para dejar una copia completamente funcional del original y su cinta. Von Neumann trabajó en su teoría de autómatas intensivamente hasta el momento de su muerte, y lo consideró su trabajo más importante.

El profesor de Cambridge John Horton Conway inventó el autómata celular más famoso de los años 60. Lo denominó el Juego de la Vida, y consiguió publicidad a través de la columna de Martin Gardner en la revista Scientific American.

Christopher Langton fue un investigador poco convencional, con una carrera académica sin distinciones que lo llevó a conseguir un trabajo programando mainframes para un hospital. Lo cautivó el Juego de la Vida de Conway, y empezó a perseguir la idea que una computadora puede emular criaturas vivas. Tras años de estudio (y un casi fatal accidente de ala delta), empezó a intentar actualizar el autómata celular de Von Neumann



y el trabajo de Edgar F. Codd, que simplificó el monstruo original de veintinueve estados de Von Neumann a uno con sólo ocho estados. Consiguió el primer organismo computacional auto replicado en octubre de 1979, usando simplemente un ordenador de sobremesa Apple II. Entró al programa de graduados del Logic of Computers Group el año 1982, a los 33 años, y ayudó a crear una nueva disciplina.

El anuncio oficial de Langton de la conferencia "Artificial Life I" fue la primera descripción de un campo en el que casi no existían avances.

La vida artificial es el estudio de sistemas artificiales que exhiben comportamientos característicos de sistemas vivos naturales. Es la búsqueda de una explicación de la vida en cualquiera de sus posibles manifestaciones, sin restricciones a un ejemplo particular que haya evolucionado en la Tierra. Están incluidos experimentos biológicos y químicos, simulaciones por ordenador, e iniciativas puramente teóricas. Los procesos que ocurren en una escala molecular, social y evolutiva son objeto de investigación. El objetivo final es extraer la forma lógica de los sistemas vivientes.

La tecnología microelectrónica y la ingeniería genética pronto nos darán capacidad para crear nuevas formas de vida tanto en silicio como en vitro. Esta capacidad presentará a la humanidad con los retos técnicos, teóricos y éticos con más mayor alcance a los que nunca a estado confrontada. El momento parece apropiado por reunir a aquellos involucrados en el intento de simular o sintetizar aspectos de sistemas vivos.

El año 1982, el científico en computadoras Stephen Wolfram dirigió su atención a los autómatas celulares. Exploró y categorizó los tipos de complejidad que mostraban los autómatas celulares unidimensionales, y mostró cómo podían ser aplicados a fenómenos naturales como las conchas marinas y la naturaleza del crecimiento de las plantas. Norman Packard, que trabajó con Wolfram en el Institute for Advanced Study (Instituto para Estudios Avanzados), usó autómatas celulares para simular el crecimiento de copos de nieve, siguiendo reglas muy básicas.

El animador por computadora Craig Reynolds en el año 1987 usó de manera similar simples reglas para crear comportamientos de bandadas de pájaros en grupos de "boids" dibujados por ordenador. Sin ningún tipo de programación "de arriba abajo" (top-

down), los boids producían soluciones parecidas a los de la vida real para evadir obstáculos en su camino. La animación por computadora ha continuado siendo un conductor comercial clave para la investigación en vida artificial según los creadores de películas intentan encontrar formas más realistas y baratas de animar formas naturales como plantas vivas, movimientos de animales, movimiento de pelo, y complicadas texturas orgánicas.

La Unidad of Theoretical Behavioural Ecology (Unidad de Ecología Comportacional Teórica) en la Free University de Bruselas ha aplicado las teorías auto organizadoras de Ilya Prigogine y el trabajo del entomólogo E.O. Wilson a la investigación de insectos sociales, particularmente la allelomimesis, en la cual las acciones individuales son dictadas por los vecinos cercanos. Desarrollaron ecuaciones diferenciales parciales que modelaban las formas creadas por termitas cuando construyen su nido. Entonces las compararon con la reacción de termitas reales a cambios idénticos en las termitas de laboratorio, y redefinieron sus teorías de las reglas que son la base de su comportamiento.

J. Doyne Farmer fue una figura clave al atar la investigación de vida artificial al campo emergente de sistemas adaptativos complejos, trabajando en el Center for Nonlinear Studies (Centro por Estudios No-Lineales), una sección de búsqueda de los Alamos National Laboratory, en el momento en que el teórico del caos Mitchell Feigenbaum se marchaba. Farmer y Norman Packard presidían una conferencia el mayo de 1985 denominada "Evolution, Games, and Learning" ("Evolución, Juegos, y Aprendizaje"), que presagió muchos de los temas de conferencias sobre vida artificial posteriores.

Hay trabajos para crear modelos de vida artificial con modelos celulares. Trabajos preliminares por crear un modelo completo del comportamiento celular está en camino en varios proyectos de búsqueda, denominados BlueGene que prueban de entender los mecanismos detrás del plegamiento proteico.

### **1.1.1. Simuladores de organismos digitales/vida artificial**

Aquí podemos distinguir varias categorías, dependiendo del enfoque de los mismos:

#### **1.1.1.1. Basados en programación**

Incluyen organismos con un lenguaje DAN complejo, usualmente Turing completo. Estos lenguajes se presentan en la forma de programas de computadora, en lugar de DNA biológico. Uno de los ejemplos más interesantes de este tipo de simuladores es Tierra.

Este proyecto lleva en activo desde 1994 y ha recibido bastante atención de los medios académicos. El principal propósito de tierra es generar software inteligente y complejo mediante la utilización de algoritmos genéticos. Estos programas compiten entre si para acaparar el tiempo de cómputo de una CPU. Los que consiguen mantener durante más tiempo tienen más posibilidades de reproducirse y extender su código a las siguientes generaciones. Para evitar mutaciones que llevasen a cuelgues fatales para la CPU todo el sistema se envuelve en una máquina virtual que depura las instrucciones peligrosas.

Tierra es una excelente aproximación a los algoritmos genéticos ya que ofrece un software fácil de utilizar y entender. El código de la aplicación esta disponible para cualquiera en la página web ( <http://www.nis.atr.jp/~ray/tierra/> ).

Otros simuladores interesantes que siguen el algoritmo de Tierra son:

- Avida
- Darwinbots
- Framsticks
- Physis
- Evolve4.0

### **1.1.1.2. Basados en parámetros**

Los organismos son construidos generalmente con comportamientos predefinidos que son afectados por diversos parámetros que mutan. Esto significa que cada organismo contiene una colección de número que cambian y afectan su comportamiento de formas bien definidas. Un ejemplo de este tipo de mundos es Darwin Pond.

Darwin Pond es una simulación de un pequeño ecosistema. En este ecosistema habitan cientos de seres llamados "swimmers". Estos seres evolucionan sus anatomías y movimiento a lo largo de generaciones con el fin ultimo de llegar a ser buenos nadadores.

Fue creado la empresa Rocket Science Games en 1996. Inicialmente se trataba de un proyecto de investigación acerca de la vida artificial. El proyecto tuvo un desarrollo de un año y debido a ciertos problemas legales acabo convirtiéndose en un programa de código abierto disponible para cualquiera con una conexión a Internet.

La principal fuerza de este producto radica en el uso de organismos físicos. Estos organismos tienen interacciones físicas con el medio que se representan a la hora de nadar. Es el usuario el que define el algoritmo de evaluación de cada individuo y de este modo fija los cánones de "belleza" para la especie. Haciendo esto el jugador hace que su especie evolucione en uno u otro sentido. Además en el mundo también existe la comida así que los individuos necesitan comer más para vivir y finalmente reproducirse más que sus vecinos.

Es decir, los parámetros predefinidos en este mundo serían los referidos a como nada el "swimmer", su belleza y su energía.

Otro mundo de este tipo es el famoso Gene Pool.

### **1.1.1.3. Basados en células**

Los organismos se construyen como una célula individual, con genes que expresan proteínas. La expresión genética afecta el comportamiento de la célula. El objetivo aquí es usualmente ilustrar las propiedades emergentes de organismos pluricelulares.

Ejemplos de este tipo de mundos son:

- Cell-O-Sim

- Kyresoo Plants

#### 1.1.1.4. Basados en redes neuronales

Estas simulaciones tienen criaturas que aprenden y crecen usando redes neuronales o derivados cercanos. El énfasis suele ponerse más en el crecimiento y el aprendizaje que en la evolución.

Polyworld es un representante arquetípico de este tipo de mundo. Muestra un entorno gráfico en el cual la población (normalmente reducida a únicamente unos cientos) formada por agentes trapezoidales está continuamente en busca de comida, pareja o huyendo de sus depredadores. El entorno gráfico no es algo meramente anecdótico ya que las criaturas deben ser capaces de ver las barreras que ocasionalmente aparecen en el mundo. El programa permite ciertas acciones como el comer comida o a otras especies, aparearse. Así que es bastante habitual ver aparecer espontáneamente varios tipos de comportamientos no esperados como el canibalismo relaciones presa depredador etc.

Cada individuo toma decisiones gracias a su red neuronal. Esta red es derivada del código genético de cada individuo. Parámetros como las conectividades y el peso de cada una de las neuronas son especificadas. Además también se define en el genotipo atributos visuales como pueden ser el color, funcionales como la velocidad o más importantes como la probabilidad de mutación del individuo.

También se puede encontrar información interesante acerca de:

- NERO - Neuro Evolving Robotic Operatives
- Noble Ape

## **2 Motivaciones y situación en el contexto**

En esta sección desarrollaremos las motivaciones que nos han llevado a realizar esta simulación, así como qué consideramos que puede aportar al mundo de la Inteligencia Artificial (en particular al de la Vida Artificial).

### **2.1. Comparación con vida artificial**

Como ya se ha mencionado, dentro del ámbito de la vida artificial, existe un campo dedicado al estudio de los algoritmos genéticos.

Dichos algoritmos aprovechan la técnica de la selección natural observada por Darwin para intentar resolver problemas en los que se pueden modelar las posibles soluciones, de manera que podamos saber cuáles se acercan más a la solución óptima. Además, estas soluciones podrían combinarse entre sí, para obtener mejores resultados aún. La naturaleza ha demostrado que este proceso es muy eficiente a la hora de resolver problemas tales como la adaptación al medio o la consecución de un equilibrio natural que permita que los entornos se mantengan en el tiempo, aumentando así las posibilidades de encontrar “soluciones” aún mejores. Esto es lo que podría considerarse como “evolución”, en lo que a dichas soluciones se refiere.

La tarea de modelar esas soluciones suele ser difícil y costosa. No todos los problemas se pueden modelar, ni el conjunto de soluciones ser acotado con facilidad. Además, aún en el caso de que existiese un conjunto definido de soluciones, éstas podrían no ser comparables para ver cuál se acerca más a la óptima. Otro aspecto que dificultaría la aplicación de este algoritmo sería la problemática a la hora de codificar una solución de manera que pudiesen combinarse entre ellas, orientando la búsqueda a resultados más refinados.

Sin embargo, nuestra idea no es modelar esas soluciones, sino directamente el entorno real en el que se aplica la selección natural, para poder estudiar de manera más clara qué tipo de factores podrían influir más activamente en dicha selección. De esta manera, podríamos refinar las técnicas utilizadas en algoritmos genéticos para hacer más

eficientes las tareas de explotación y exploración que llevan a cabo estos algoritmos. Así, la aplicación de los algoritmos genéticos para encontrar dichas soluciones a otros problemas sería menos costosa, puesto que podríamos orientar más claramente el modelado del problema hacia la búsqueda de una solución más óptima.

Por tanto, a diferencia de la mayoría de algoritmos comentados en el estado del arte, nuestra simulación se centra más en la imitación de los procesos naturales para su mejor comprensión que en su explotación para resolver problemas de otros ámbitos. Esto hará que no busquemos la solución a un problema determinado, sino facilitar la búsqueda general de soluciones a cualquier problema.

## **2.2. Motivaciones**

Lo que nos llevo a desarrollar esta simulación fue la idea de desarrollar una aplicación que sirviese para investigar un campo que nos interesa particularmente, como es el de los algoritmos genéticos, sin descuidar el hecho de que fuera agradable de usar para el usuario. Normalmente los procesos de investigación suelen ser tediosos y repetitivos, con grandes lotes de pruebas por hacer y resultados que recoger con poca o nula participación por el investigador durante el proceso. Con nuestra aplicación, el usuario podrá observar en todo momento, de manera fácil y atractiva, el resultado de sus decisiones a la hora de elegir los parámetros que componen el ecosistema. De esta manera, conseguir imitar los procesos naturales que estamos investigando se convertirá en una tarea más fácil y llevadera.

## **3 Lógica del juego**

En esta sección describiremos la lógica interna que rige la simulación, dando lugar a un ecosistema artificial controlado en cierta medida. Este ecosistema será modelado por un mundo, que contendrá los elementos integrantes del medio ambiente que queremos simular. Dichos integrantes se pueden considerar los “actores” o “agentes” del sistema, y son fácilmente diferenciables entre animales, vegetales y entidades inertes. Dentro de dichos agentes, los individuos animales compondrán la entidad más compleja del sistema, siendo capaces de adoptar comportamientos según su situación particular y la del ecosistema en un momento dado.

La aplicación está destinada a conseguir un cierto equilibrio durante la simulación. Esto no quiere decir que se desee alcanzar un estado constante, en el que los elementos del ecosistema permanezcan invariables. El equilibrio en un ecosistema consiste en conseguir una estabilidad relativa, en el que los actores se mantengan a lo largo del tiempo sin cambiar a un estado que derive en la destrucción del ecosistema, como sería la muerte de todos sus individuos.

### **3.1. Mundo**

El mundo del que formarán parte los actores de la simulación consistirá, fundamentalmente, en un “tablero” en apariencia tridimensional, aunque a efectos de la física de las entidades solo contaremos con dos dimensiones. La tercera, como se explicará más adelante, influirá en la regeneración de los vegetales y la descomposición de las entidades inertes.

#### **3.1.1. Parámetros globales**

Además del tablero, el ecosistema contará con una serie de multiplicadores que afectarán al comportamiento de todos sus integrantes. Estos parámetros serán configurables por el usuario, y ponderarán la importancia de los distintos sucesos que



podrán tener lugar en el mundo (los cuales serán explicados más adelante). A continuación se describen dichas variables:

- **g\_alcance (Valor entero positivo):** Afectará al radio de acción de los individuos, a modo de multiplicador. Por ejemplo, si se le da un valor de 2, el radio de alcance **efectivo** de los individuos será el doble del que indique su genotipo.
- **g\_resistencia (Valor entero positivo):** Afectará a la resistencia de los individuos a los ataques externos, la manera en que se cansan o recuperan energía. El cálculo se realizará de manera análoga a como sucede con el alcance.
- **g\_fuerza (Valor entero positivo):** Afectará a la fuerza con la que los individuos podrán atacar. El daño que causarán a otros individuos se verá multiplicado por este parámetro.
- **g\_velocidad (Valor entero positivo):** Afectará a la velocidad con la que los individuos realizan acciones (comer, moverse, luchar...). Por ejemplo, la distancia que podrán recorrer los individuos en cada turno se multiplicará por este factor.
- **g\_descendencia (Valor entero positivo):** Afectará al número de descendientes que podrán tener los individuos al reproducirse. El número de individuos que se generen cuando dos individuos se reproduzcan será el resultado de redondear el producto de la descendencia dada por el genotipo del individuo que inicia el acto y el valor de éste parámetro global.
- **g\_esperanza (Valor entero positivo):** Afectará a la esperanza de vida de los individuos, de manera que si el valor es mayor que 1, los individuos verán alargada su existencia de manera proporcional.
- **g\_regeneración (Valor entero positivo):** Afectará a la velocidad con la que se regeneran los vegetales cada turno. La cantidad de metabolitos vegetales recuperados será directamente proporcional a este parámetro.
- **g\_descomposición (Valor entero positivo):** Afectará a la velocidad con la que se descomponen las entidades inertes o cadáveres. La cantidad de metabolitos convertidos en carroña en cada turno será calculada mediante este parámetro.

### 3.1.2. Umbrales de alarmas

Además de las variables globales, también podrán ser configurados ciertos umbrales que influyen en las distintas alarmas que pueden afectar al comportamiento de los individuos. Dichas alarmas saltarán en función del estado de cada individuo, no obstante con éstos umbrales definiremos el valor mínimo que la alarma deberá alcanzar para ser tenido en cuenta, determinando así la dificultad o facilidad con que cada una de ellas hará acto de presencia. Los distintos umbrales (uno por cada alarma posible) se detallan a continuación:

- **umbral\_alarma\_hambre (Valor decimal 0-1):** Decidirá cuánto tendrán en cuenta los individuos su hambre.
- **umbral\_alarma\_depredador (Valor decimal 0-1):** Decidirá qué importancia darán los individuos a los depredadores cercanos.
- **umbral\_alarma\_reproducción (Valor decimal 0-1):** Decidirá como de importante supondrá para los individuos el tiempo que llevan sin reproducirse.
- **umbral\_alarma\_fatiga (Valor decimal 0-1):** Decidirá cuánto tendrán en cuenta los individuos su cansancio.
- **umbral\_alarma\_salud (Valor decimal 0-1):** Decidirá cuánto mirarán los individuos por su salud.

### 3.1.3. Generación de la vegetación

Una vez configurados los parámetros, se construirá el entorno en el que tomará lugar la simulación. En primer lugar se generará el paisaje aleatoriamente, con un cierto relieve. Después, sobre el terreno, se colocará la vegetación.

Para colocar la vegetación de una forma menos arbitraria, tomamos la decisión de agruparla en bosques. De esta manera, siguiendo unos parámetros definidos de número de vegetales totales, número de bosques y radio de los mismos, se seleccionaran aleatoriamente posiciones dentro del mundo en las que colocarlos. Después de

seleccionarlas, los vegetales serán repartidos en torno a dichos “centros” dentro del radio definido.

Una vez decidida la posición, para cada árbol se elegirá un tipo. Las probabilidades de que sea de un tipo u otro variarán según la altura del terreno en la posición seleccionada. En función del tipo de vegetación que sea seleccionado, variará la apariencia y composición metabólica de los vegetales. Los posibles tipos de vegetación se dividen en los siguientes grupos:

- Si la altura está por debajo de 35 metros, tendrá más probabilidades de ser un vegetal del tipo 1. Estos vegetales tienen apariencia de aquí y su metabolito predominante es V1, teniendo 50 unidades de dicho componente de partida, y 25 de cada uno de los demás metabolitos vegetales (V1 y V2).
- Si la posición elegida se encuentra a una altura de entre 35 y 70 metros, lo más probable es que sea un vegetal de tipo 2, el cual tendrá apariencia de aquí y su composición estará formada inicialmente por 50 unidades del metabolito V2 y 25 de los metabolitos V1 y V3.
- Por último, si se coloca un vegetal por encima de los 70 metros, su tipo más probable será el 3, adquiriendo apariencia de fresa, y partiendo con 50 unidades del metabolito V3 y 25 de los metabolitos V1 y V2.

### **3.2. Especies**

Como se ha comentado al principio de esta sección, los animales están agrupados por especies con unas características similares. Dichas características serán determinante en la manera en que los individuos interaccionan con el entorno, y en sus posibilidades de sobrevivir. Estarán definidas en el genotipo de cada individuo, pero éste será una ligera variación (al menos inicialmente) del genotipo medio definido en el fichero de configuración de las especies, por lo que los individuos dentro de una misma clase no se diferenciarán mucho los unos de los otros. Además, se necesitarán mutuamente para la reproducción, meta final de su existencia, ya que de ella dependerá que sus genes sean transmitidos a la próxima generación para poder perpetuar la especie. Por último, en

función del liderazgo definido en cada individuo y de su posición en el mundo, se calculará un centro de masas. Este centro será utilizado por cada individuo, en función de su sociabilidad, para decidir hacia qué zonas se moverá durante su etapa de vida.

### **3.2.1. Características de los individuos**

Las características de los individuos están determinadas por su genotipo. De ellas dependen las decisiones que tomará el individuo en cada turno, así como la efectividad y eficiencia con que serán ejecutadas. De manera básica, podríamos dividir estas características en dos grupos: físicas y psíquicas.

Características físicas:

- Alcance visual: valor entero [0, 100]
- Agudeza visual: valor entero [0, 100]
- Resistencia: valor entero [0, 100]
- Fuerza: valor entero [0, 100]
- Velocidad: valor entero [0, 100]
- Esperanza de vida: valor entero mayor que 0
- Descendencia: valor entero mayor que 0
- Alimentación: vector booleano con 7 valores “X” o “O”, indicando como positivos (“X”) los 3 metabolitos asimilables por el individuo
- Composición: vector de 3 valores decimales, que deberán sumar 100, indicando la composición física del individuo

Características psicológicas:

- Agresividad: valor decimal [0, 1]
- Gula: valor decimal [0, 1]
- Lujuria: valor decimal [0, 1]
- Sociabilidad: valor decimal [0, 1]

- Pereza: valor decimal [0, 1]
- Liderazgo: valor decimal [0, 1]
- Valentía: valor decimal [0, 1]

### **3.2.1.1. Físicas**

Las características físicas son las que más influirán en cómo realizarán los individuos las acciones más básicas, así como la manera en que el entorno en el que se mueven modificará su estado. Además, las características físicas estarán relacionadas entre sí, ya que los parámetros de un mismo “grupo” no podrán suma más de 100 unidades entre todos. Por tanto, tampoco podrán superar esa cantidad de manera individual. El resumen de las mismas es el siguiente:

- **Alcance visual (Valor entero 0-100):** determinará la distancia (en metros) a la que los individuos podrán detectar otras entidades, ya sean vegetales, entidades inertes, u otros individuos. Esto afectará de manera fundamental a la relación del individuo con las mismas, y en la toma de decisiones acerca de qué hacer respecto a las entidades que haya su alrededor.
- **Agudeza visual (Valor entero 0-100):** determinará la calidad de la visión del individuo. Cuando éste detecta una entidad, el proceso de situarla estará afectado por este parámetro, teniendo más precisión cuanto mayor sea el valor. Este valor estará relacionado con el del alcance visual, siendo 100 la suma de ambos parámetros en todos los genotipos generados.
- **Resistencia (Valor entero 0-100):** este parámetro influirá en multitud de acciones llevadas a cabo por el individuo. La facilidad con la que se cansará (aumentará su fatiga), la fuerza con la que soportará ataques de otros individuos (cómo disminuirá su salud), la velocidad con la que se consumirán sus reservas y aumentará el hambre son los ejemplos de influencia de la resistencia en el devenir de los individuos.
- **Fuerza (Valor entero 0-100):** la fuerza afecta al daño causado por sus ataques a otros individuos, posiblemente destinados a acabar con ellos para alimentarse de

sus metabolitos. Así pues, tiene una influencia determinante en la facilidad con la que el individuo podrá alimentarse. Por contra, le servirá para ahuyentar a otros individuos de intentar darle caza para alimentarse.

- **Velocidad (Valor entero 0-100):** además de afectar a la rapidez con la que se mueven los individuos, influirá en la posibilidad que tendrán los mismos de evitar ataques, así como en la cantidad máxima de metabolitos que será capaz de asimilar durante el proceso de alimentación. Este parámetro estará relacionado con los dos anteriores (fuerza y velocidad) de manera análoga a la relación existente entre alcance y agudeza visual; la suma de los tres no podrá exceder las 100 unidades.
- **Esperanza de vida (Valor entero 0-100):** la esperanza de vida definida en el genotipo tendrá repercusión en la longitud de la misma. Existe la posibilidad de que el individuo muera por causas naturales debido a su edad; la probabilidad de que esto ocurra se calculará contrastando la edad del individuo con este parámetro.
- **Descendencia (Valor entero 1-10):** este parámetro marcará el número de descendientes que se producirán cuando el individuo se reproduzca. Un valor muy alto podría hacer que la especie proliferase demasiado, agotando los recursos del entorno con demasiada rapidez; mientras que un valor excesivamente bajo disminuiría las probabilidades de supervivencia de la especie.
- **Alimentación (Vector booleano de 7 elementos):** en el genotipo se definirán tres metabolitos asimilables por el individuo. Dependiendo de cuáles sean esos metabolitos, el individuo será considerado herbívoro, carnívoro, omnívoro o saprobio (carroñero). Las cantidades disponibles en el entorno de los metabolitos seleccionados influirán decisivamente en la supervivencia del individuo. Otro aspecto a tener en cuenta es la disponibilidad de los metabolitos animales asimilables: si éstos pueden ser encontrados en una especie menos fuerte, cazar a sus individuos permitiría orientar la estrategia de supervivencia hacia eliminar competidores sin demasiado riesgo a perder la vida propia.

- **Composición (Vector de 3 valores enteros 0-100):** también se definirán las cantidades de los metabolitos animales que componen al individuo. La composición de un individuo influirá en la toma de decisiones de otros individuos a la hora de alimentarse, pudiendo evitar ser cazados con más facilidad en función de las cantidades seleccionadas. Dichas cantidades siempre sumarán 100 unidades, y estarán disponibles en el cadáver que se genere cuando el individuo muera.

### **3.2.1.2. Psíquicas**

Además de las características físicas, en el genotipo de la especie definiremos una serie de parámetros psíquicos en los que se basará la toma de decisiones del individuo en cada turno. Dichos parámetros tomarán valores entre 0 y 1, no existiendo ninguna relación de dependencia entre ellos (al contrario de lo que ocurre con algunas características físicas). Entre estas características psíquicas se pueden distinguir:

- **Agresividad (Valor decimal 0-1):** un individuo muy agresivo buscará pelearse con mayor frecuencia, sin importar si el objetivo es más o menos fuerte. Por el contrario, un valor muy bajo hará que el individuo evite iniciar conflictos.
- **Gula (Valor decimal 0-1):** la gula será una característica que podrá inducir al individuo a buscar alimento, aunque se encuentre suficientemente saciado como para no preocuparse por el hambre. También podría provocar que atacase a otros individuos para intentar alimentarse de sus metabolitos, siempre y cuando éstos sean asimilables.
- **Lujuria (Valor decimal 0-1):** este parámetro influirá en que el individuo muestre intenciones o no de reproducirse con otro miembro de su misma especie, independientemente del número de turnos que lleve sin reproducirse (y por tanto del valor de la alarma de reproducción).
- **Sociabilidad (Valor decimal 0-1):** los individuos de una especie sociable tendrá a permanecer más cercanos, pues se moverán hacia el centro de masas con mayor facilidad. Esto podría influir positivamente en la frecuencia de la reproducción.

- **Pereza (Valor decimal 0-1):** la pereza podría llevar a los individuos a tomar la decisión de no hacer nada durante el turno, lo cual les haría estar más descansados (controlaría su valor de fatiga).
- **Liderazgo (Valor decimal 0-1):** el liderazgo de un individuo servirá para ponderar su importancia a la hora de calcular el centro de masas de la especie, lo que le permitiría tener parejas de reproducción potenciales en lugar de tener que desplazarse hacia ellas.
- **Valentía (Valor decimal 0-1):** la valentía afectará a la importancia que dé el individuo a sus valores de alarma, siendo más difícil que se activen cuanto mayor sea este valor.

### **3.2.2. Generación de los individuos**

Para que un individuo pueda interaccionar en el mundo, primero tendrá que ser generado en el mismo. Esto puede ocurrir debido a dos posibles causas: el individuo podría ser uno de los generados aleatoriamente al principio de la simulación, o podría ser el resultado del acto de reproducción entre dos individuos de su especie. La manera en que se compondrá el genotipo que definirá sus características físicas y psíquicas dependerá de cuál de las dos sea el motivo de su nacimiento.

#### **3.2.2.1. Generación inicial**

Al igual que ocurre con la vegetación, al principio de la simulación se generará una serie de individuos en función de los parámetros especificados. Para cada especie, se generará el número de individuos especificado, partiendo del genotipo medio también dado. Sin embargo, para conseguir una cierta variabilidad genética, a la hora de generar cada individuo se realizarán hasta un máximo de 5 ligeras variaciones aleatorias en el genotipo. Esto hará que los genotipos generados se diferencien en cierta medida los unos de los otros, dando a la especie un abanico de posibilidades mayor. Por último, la posición en la que se situarán los individuos generados será elegida aleatoriamente.



### **3.2.2.2. Reproducción sexual**

Sin embargo, las entidades animales también contarán con la posibilidad de reproducirse a voluntad para generar nuevos individuos. Cuando esto ocurra, se generarán tantos individuos como indique el parámetro de descendencia de aquél que eligió reproducirse. Para cada uno de ellos, el proceso de construcción del genotipo será análogo: se realizará primero una operación de sobrecruzamiento entre los genotipos de los progenitores, para aplicar después un operador de mutación que permita la posibilidad de que se produzcan variaciones mayores en el nuevo individuo. Los individuos serán colocados siguiendo círculos concéntricos alrededor de los dos reproductores, evitando posiciones ya ocupadas por otras entidades.

#### **Sobrecruzamiento**

A la hora de realizar el sobrecruzamiento se copiarán, en primer lugar, las características físicas definidas en el genotipo del padre (aquél que inició el proceso de reproducción). Posteriormente, se elegirán aleatoriamente qué parámetros serán copiados de la madre (el otro reproductor) y cuáles del padre, dando lugar así a un genotipo mezcla del definido en ambos progenitores.

#### **Mutación**

Después de realizar el sobrecruzamiento, se aplicará el operador de mutación. Consistirá en introducir una cierta probabilidad de que alguna de las características definidas en el genotipo, ya sean físicas o psíquicas, sufra una ligera variación, de manera similar al máximo de cinco variaciones que pueden sufrir los individuos creados durante la generación inicial.

### **3.2.2.3. Centro de masas**

El centro de masas de una especie consistirá en un lugar de influencia en el entorno para los individuos de la especie. Según la sociabilidad de cada individuo, tenderán más o menos a acercarse al centro de masas o alejarse de él. De esta manera, los individuos estarán más o menos dispersos, afectando a eventos como la reproducción o la competencia entre individuos de la misma especie (pudiéndose dar casos de canibalismo).

Para calcularlo, se hará la media de las posiciones de todos los individuos activos (vivos) de la misma, ponderando la importancia de cada uno por el valor de liderazgo definido en su genotipo. Así, el centro de masas estará más cercano a las zonas en las que haya más individuos de la especie, o hacia aquellos que posean un mayor liderazgo.

### **3.3. Individuos**

El protagonismo de la simulación residirá en las entidades animales o individuos que se moverán por el entorno. Ellos pueden ser considerados los verdaderos actores del sistema, siendo los únicos “agentes” que toman decisiones y realizan acciones capaces de alterar el entorno en el que se mueven. Por tanto, de ellos dependerá alcanzar el equilibrio mencionado. Para estudiar este equilibrio, necesitaremos disponer de cierta información acerca de la situación en que se encuentran. Dicha información puede dividirse en dos grupos claramente diferenciables: estado del individuo y alarmas activas.

Control del estado:

- Edad: valor entero positivo
- Salud: valor decimal [0, 100]
- Fatiga: valor decimal [0, 100]
- Hambre: valor decimal [0, 100]
- Reproducción: valor entero positivo

Alarmas:

- Hambre: valor decimal [0, 1]
- Depredador: valor decimal [0, 1]
- Fatiga: valor decimal [0, 1]
- Salud: valor decimal [0, 1]
- Reproducción: valor decimal [0, 1]

### **3.3.1. Control del estado**

El control del estado del individuo nos permitirá saber la situación en que se encuentra físicamente, lo cual es fundamental de cara a los procesos básicos de la simulación, como es el caso de la muerte de los individuos o la activación de las alarmas. El estado de un individuo puede estudiarse observando los siguientes parámetros:

- **Edad:** Indica la edad (en turnos) del individuo. Influye en la probabilidad de muerte por salud, así como en la urgencia del individuo por tener descendientes. También establece ciertas limitaciones, ya que en los primeros turnos de vida el individuo no será capaz de realizar ciertas acciones, como luchar o reproducirse.
- **Salud:** Indica la salud (en puntos de vida) del individuo. El máximo serán 100 puntos, valor con el que empezará todo individuo en el momento de su nacimiento. Cuanto más se acerque a 0, mayor será la probabilidad de que el individuo muera, siendo ésta una certeza en caso de tomar un valor menor o igual. Esta se verá afectada por las peleas con otros individuos, y podría llevar a la entidad animal a evitar conflictos y descansar para recuperarla.
- **Fatiga:** La fatiga es un indicador del cansancio del individuo. Aumentará cuando el individuo realice cualquier acción que no sea descansar, pudiendo llevarle a tomar la decisión de hacerlo si aumenta mucho. En caso de llegar al límite máximo (100), el individuo no podrá realizar ninguna de dichas acciones. Todo individuo empieza con la fatiga a 0 en el momento de su nacimiento.
- **Hambre:** el hambre irá aumentando a medida que transcurran los turnos sin que el individuo se alimente, y sus reservas sean consumidas. Influye en la probabilidad de muerte por hambre, y podría dar lugar a la activación de la alarma por la misma causa.
- **Reproducción:** indicará el número de turnos que han transcurrido sin que el individuo se reproduzca. Esto también afectará a la urgencia que tendrá el individuo por realizar dicho acto. Además, si el individuo se ha reproducido recientemente, no podrá volver a realizarlo hasta que éste parámetro alcance un cierto valor.

### 3.3.2. Alarmas

Junto con los parámetros que controlan el estado del individuo, hay una serie de indicadores que nos permiten saber con mayor certeza la situación en la que se encuentra el individuo, además de afectar de manera decisiva en la toma de decisiones del mismo. Estos indicadores tomarán valores entre 0 y 1, y serán tenidos en cuenta en función del parámetro de valentía de cada individuo, y de los umbrales definidos en las variables globales pertinentes. Dichos indicadores se basarán en distintos aspectos tanto del estado interno del individuo como de la visión que tenga del entorno. Cuando los indicadores superen dichos umbrales, y si la valentía del individuo lo permite, se activará una alarma que obligará al individuo a comportarse de una manera determinada. Las distintas alarmas que pueden activarse son:

- **Hambre:** cuando el individuo pase un tiempo determinado sin alimentarse y su hambre alcance un valor alto, puede activarse esta alarma, que indicaría al individuo que debe buscar alimento. De lo contrario, correría el riesgo de morir por inanición. El valor de este indicador se corresponderá con el porcentaje de reservas que conserva el individuo en un momento dado, respecto al máximo posible.

$$\text{Hambre} = \text{reservas} / \text{reservas máximas}$$

- **Depredador:** esta alarma podrá activarse cuando haya entidades animales dentro del rango de visión del individuo, que puedan alimentarse de él (asimilen los metabolitos predominantes de los que está compuesto) y tenga mayor fuerza. El valor de este indicador dependerá de la distancia a la que se encuentra el depredador potencial y de su alcance visual, y su activación indicará al individuo que deberá huir para conservar su integridad.

$$\text{Depredador} = \text{distancia depredador más cercano} / \text{alcance visual}$$

- **Fatiga:** el indicador de fatiga del individuo podría activar esta alarma, ya que sus valores están directamente relacionados. Cuando esto ocurra, el individuo deberá permanecer inmóvil para poder descansar y hacer que el valor de dicho parámetro disminuya. La fatiga del individuo se verá aumentada cada vez que el individuo

realice una acción, y su incremento dependerá de la resistencia global del mundo, además de la resistencia del propio individuo.

$$\Delta \text{fatiga} = g\_resistencia / resistencia\ individualo$$

- **Salud:** un parámetro bajo de la salud de un individuo podría activarla, pues su valor de alarma es inversamente proporcional al de la misma. En este caso, el individuo intentará alimentarse para recuperar salud, evitando conflictos y procurando desplazarse lo mínimo necesario.
- **Reproducción:** si el individuo permanece muchos turnos sin reproducirse, y su edad se acerca peligrosamente al valor de esperanza de vida definido en el genotipo, podría activarse esta alarma, que exhortaría al individuo a buscar una pareja con la que tener descendencia para perpetuar así la especie. El valor de este indicador dependerá del número de turnos que acumule el individuo sin reproducirse respecto a la esperanza de vida del mismo:

$$\text{Reproducción} = \text{turnos sin reproducirse} / \text{esperanza de vida}$$

### 3.4. Inteligencia Artificial del simulador

La base de cualquier ecosistema son las Entidades que habitan en él. De la forma de comportarse y reaccionar a los distintos estímulos dependerá el equilibrio del mismo. Por ello, la parte más fundamental de nuestro simulador será la inteligencia artificial que controle la manera en que éstas se comportan.

Teniendo en cuenta los comportamientos mencionados, se puede hacer una división entre clara:

- Entidades animales: individuos
- Entidades vegetales
- Entidades inertes: cadáveres

### **3.4.1. Entidades animales: Individuos**

Las entidades animales serán los Individuos que pueblen el ecosistema. Ellas serán las que más interaccionen con el entorno, por lo que su diseño será el punto más crítico de la aplicación. Se regirán por una serie de estrategias, las cuales adoptarán según las condiciones del entorno que les rodea y de las suyas propias. Dichas estrategias serán activadas por las alarmas mencionadas anteriormente, tomando como defecto (en caso de que no haya ninguna activa) un comportamiento normal, en el que las acciones del individuo dependerán de sus características psicológicas.

Además, los individuos tienen un sistema de alarmas que podrán activarse según la situación en la que se encuentren. Dichas alarmas toman un valor que mide cuán grave es la situación, teniendo se en cuenta aquella con mayor valor. Estos valores sólo serán tenidos en cuenta a partir de ciertos umbrales definidos como variables globales del mundo. Además, el parámetro de valentía definido en el Genotipo del Individuo podría hacer que estas alarmas fuesen ignoradas.

Estrategias:

- Normal
- Respuesta a Depredador
- Respuesta a Fatiga
- Respuesta a Salud
- Respuesta a Hambre
- Respuesta a Reproducción

#### **3.4.1.1. Comportamiento Normal**

Cuando los Individuos no tienen ninguna alarma activada, seguirán un comportamiento orientado por sus características psicológicas, definidas en el Genotipo. En cada turno, el Individuo tomará una decisión acerca de qué “sentimiento” le moverá a realizar su acción. Dichos sentimientos serán las comentadas características psicológicas, a saber:

### Ira

El Individuo intentará luchar con el individuo más cercano (si está a su alcance) o se moverá hacia el con intenciones hostiles (si existe uno dentro de su rango de visión). En caso de no encontrar ningún individuo cerca, vagará por el mundo durante este turno en busca de posibles contendientes.

### Gula

El Individuo intentará alimentarse del alimento más cercano, ya sea un Vegetal que pueda asimilar; el cadáver de otro Individuo que contenga metabolitos incluidos en su dieta; u otro Individuo vivo, con metabolitos asimilables y un parámetro de fuerza menor. Si se trata de éste último, el Individuo luchará con el posible alimento con la intención de matarle para poder alimentarse de él. En caso de no hallarse ningún alimento cerca, vagará por el mundo de la misma manera que en el caso anterior.

### Lujuria

El Individuo intentará reproducirse con la pareja (Individuo de su misma especie) más cercana, de manera análoga a los comportamientos anteriores. Igualmente, vagará por el terreno de la simulación en caso de no tener un posible objeto de reproducción dentro de su rango de visión.

### Sociabilidad

El Individuo se limitará a moverse hacia el centro de masas.

### Pereza

El Individuo descansará este turno sin moverse y sin realizar ninguna acción, recuperando de esta manera salud y fatiga.

Para determinar qué sentimiento será el que prime sobre los demás en cada turno, se llevara a cabo una selección aleatoria. Esta selección estará ponderada según los valores establecidos por el Genotipo del individuo; cuanto mayor sea el valor de un determinado parámetro, más posibilidades tendrá ese parámetro de ser seleccionado.

#### **3.4.1.2. Respuesta a Depredador**

Cuando esté activada esta alarma, el Individuo intentará huir de un determinado depredador (otro Individuo que asimile de alguno de los metabolitos que éste Individuo contiene, y que tenga un parámetro de fuerza mayor). Para ello se moverá en la dirección contraria de la que venga el posible depredador, aunque éste no esté persiguiéndole.

#### **3.4.1.3. Respuesta a Fatiga**

Si se activa la alarma de cansancio con mayor prioridad que otras, el Individuo permanecerá inmóvil recuperando puntos de salud y de fatiga.

#### **3.4.1.4. Respuesta a Salud**

Si se activa la alarma de baja salud, el Individuo huirá de los posibles depredadores que encuentre dentro de su rango de visión. Si no hay ninguno, descansará, recuperando así puntos de salud y de fatiga.

#### **3.4.1.5. Respuesta a Hambre**

Si se activa esta alarma, el Individuo tendrá un comportamiento análogo al seguido cuando le mueva la gula. Intentará alimentarse de la entidad con metabolitos asimilables más cercana; en caso de ser otro Individuo vivo con un parámetro de fuerza menor, el Individuo luchará con él para intentar matarle y alimentarse de él en turnos posteriores. En caso de no hallarse ningún alimento cerca, vagará por el mundo de la manera habitual.

#### **3.4.1.6. Respuesta a Reproducción**

Esta alarma activará un comportamiento análogo al que ejecutaría un individuo movido por la lujuria. Buscará un Individuo de su misma especie dentro de su rango de visión para reproducirse con él, vagando por el mundo en caso de no encontrar ninguno.

#### **3.4.1.7. Prioridad de las alarmas**

En el caso de que dos o más alarmas coincidan como valor más alto en un mismo turno, se utilizará el siguiente orden de prioridad:

1. Depredador
2. Fatiga



3. Hambre
4. Reproducción
5. Salud

#### **3.4.1.8. Actos reflejos**

Aunque los comportamientos definirán las decisiones que tomarán los Individuos en cada turno, éstas se llevarán a cabo mediante un conjunto de operaciones básicas que definimos como “actos reflejos”. La manera y efectividad en que los Individuos ejecutarán dichos actos dependerá fundamentalmente de las características físicas definidas en su Genotipo, aunque en algún caso se verán también afectadas por la sociabilidad. Dichos actos de reflejos se resumen en: movimiento, alimentación, lucha, reproducción y descanso.

Un aspecto a destacar sobre estos actos reflejos es que no podrán realizarse en caso de que la fatiga haya alcanzado el valor máximo (100).

Actos reflejos:

- Movimiento
- Vagar
- Alimentación
- Lucha
- Reproducción
- Descanso

#### **Movimiento**

El movimiento de los Individuos se basará en trasladarse por el mundo en dirección a un punto indicado. La orientación de su representación gráfica también cambiará en función de la dirección que necesite seguir para llegar a su objetivo, aunque este será un hecho meramente cosmético, ya que no afectará a la calidad o al rango de visión del Individuo. Cabe también destacar que la cantidad de espacio recorrido en cada turno dependerá de la velocidad definida en el Genotipo del Individuo.

En algunos casos, en lugar de desplazarnos hacia un punto, el Individuo se alejará de él, moviéndose en la dirección contraria. Este hecho se producirá cuando la estrategia que prime en ese momento sea huir de un depredador potencial que amenace la supervivencia de la Entidad.

Mientras el Individuo se encuentre en movimiento, se aumentará la fatiga en una cantidad determinada por el parámetro de resistencia definido en el Genotipo del Individuo, y por una variable global del mundo.

### Vagar

Cuando el Individuo no pueda realizar la acción que dictamina su comportamiento por falta de objetivos a su alcance (por ejemplo, no tener un alimento en su rango de visión cuando la estrategia elegida para el turno ha sido alimentarse), se dedicará a vagar por el mundo.

Dicha acción consistirá en moverse en una dirección determinada por su sociabilidad y su posición respecto al centro de masas de su especie; si su sociabilidad está definida a 1 (el máximo), se moverá hacia él; si está definida 0 (el mínimo), se moverá en dirección contraria. Valores intermedios definirán una desviación respecto a la dirección que seguiría para alcanzar dicho centro. Por ejemplo, un valor mayor que 0.5, significará que el individuo seguirá la dirección hacia el centro de masas, con una cierta desviación. Si es menor que 0.5, realizará lo propio pero con la dirección que le aleje del centro de masas de su especie. Un valor de exactamente 0.5 le haría desplazarse de manera perpendicular a la recta imaginaria que le uniría con el centro de masas.

### Alimentación

La alimentación de los Individuos consistirá en consumir los metabolitos asimilables de otra Entidad a su alcance, a un ritmo marcado por el parámetro de velocidad definido en su Genotipo. La cantidad de cada metabolito que será asimilada en cada turno será calculada aleatoriamente, siendo la suma de todos los alimentos consumidos en el turno la que estará limitada por la mencionada velocidad. Además, dichas cantidades también estarán limitadas por los metabolitos disponibles en la Entidad alimento (no se podrán asimilar más metabolitos que los existentes en dicha Entidad).

Este acto tendrá una consecuencia directa sobre la Entidad utilizada como alimento; las cantidades de los metabolitos asimilados por el Individuo serán “consumidas” en el alimento, esto es, serán restadas. En ningún caso se llegará a un valor menor que 0. Cuando todos los metabolitos de una Entidad (Vegetal o Inerte) alcancen 0, será considerada como “consumida” y se eliminará del mundo.

En este caso también aumentará la fatiga, de manera análoga a como sucede en el movimiento.

### Lucha

En ocasiones, el Individuo elegirá atacar a otro, ya sea movido por la ira, la gula, o el hambre. En estos casos, se producirá un enfrentamiento. La decisión de pelear será totalmente unilateral; el Individuo objeto del ataque no podrá negarse a pelear.

El enfrentamiento consistirá en un ataque realizado por el Individuo atacante, y una respuesta del Individuo defensor. Ambos sucesos ocurrirán en el mismo turno, durante el período reservado a la acción correspondiente al atacante.

En primer lugar, se procesará el ataque del Individuo que inició la pelea. Primeramente, se calculará la probabilidad de que el Individuo defensor esquive el ataque. Para ello, se harán “tiradas” ( tirada(x) ) con el parámetro de velocidad de cada Individuo, esto es, se calcularán dos números aleatorios, teniendo cada uno como valor máximo posible los parámetros indicados. La condición para que el ataque tenga éxito se resume en la siguiente expresión:

$$\text{tirada}(v1) > \text{tirada}(v2)/4$$

Donde v1 y v2 son los valores de velocidad mencionados.

En caso de que dicha condición se cumpla, se procederá a calcular el daño producido por el ataque. Para ello, se realizarán tiradas con la fuerza del Individuo atacante (f1) y la resistencia del Individuo defensor (r2). Los efectos estarán ponderados por la fatiga de cada Individuo. El daño producido se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{daño} = [\text{tirada}(f1) * (100 - \text{fatiga1}) - \text{tirada}(r2) * (100 - \text{fatiga2}) / 2] / 100$$

Un aspecto a destacar es que, en ningún caso, el daño producido podrá ser menor de 1. En caso de que la fórmula anterior produjese un valor por debajo, se forzará a que la salud restada al Individuo defensor sea 1.

Además de provocar un descenso en la salud del defensor, el ataque producirá un aumento en la fatiga del atacante. Para calcularla, además de utilizar el valor obtenido anteriormente con la tirada sobre la fuerza del Individuo, se realizará una tirada con su resistencia, siendo el aumento de fatiga el resultante de la siguiente expresión:

$$\text{fatiga} = \text{tirada}(f1) - \text{tirada}(r1) * 3/4$$

Como en el caso del daño producido, la fatiga mínima posible siempre será 1.

A continuación se procesará la respuesta del defensor. Para ello, se utilizarán las mismas fórmulas que con el atacante, intercambiando los parámetros de los Individuos. Así pues, las fórmulas utilizadas para calcular la respuesta del defensor quedarían así:

$$\begin{aligned} \text{tirada}(v2) &> \text{tirada}(v1) / 4 \\ \text{daño} &= [\text{tirada}(f2) * (100 - \text{fatiga2}) - \text{tirada}(r1) * (100 - \text{fatiga1}) / 2] / 100 \\ \text{fatiga} &= \text{tirada}(f2) - \text{tirada}(r2) * 3/4 \end{aligned}$$

Por último, cabe destacar que, en ambos casos, sólo se producirá el ataque si el parámetro de fatiga del ejecutor se encuentra por debajo de 100. Esto no quiere decir que, en caso de que la fatiga del atacante le impida efectuar el ataque, no se produzca el enfrentamiento; el defensor efectuará una respuesta a las intenciones hostiles de su atacante, si su propia fatiga se lo permite.

## Reproducción

Cuando el Individuo tenga a otro de su misma especie a su alcance, podrá realizar el acto reproductivo, ya sea movido por la lujuria o por la urgencia (alarma) de reproducirse.

Dicho proceso tendrá como resultado tantos nuevos Individuos de la misma especie como indique el parámetro de descendencia del Individuo que inicie la reproducción. Al igual que en el caso de la lucha, esta decisión será unilateral; basta con que uno de los dos Individuos decida reproducirse para que se lleve a cabo el proceso.

Otra consecuencia que tendrá este acto reflejo será la reducción a 0 del contador que mide el número de turnos que lleva el Individuo sin reproducirse, en ambos Individuos.

#### Descanso

En ocasiones los Individuos decidirán descansar, recuperando así salud y fatiga a lo largo de este turno. Durante dicho periodo, los Individuos no realizarán ninguna acción como moverse o alimentarse. Sin embargo, si que responderán a ataques hostiles provenientes de otros Individuos.

#### 3.4.1.9. Procedimiento de muerte

Además de nacer, crecer y reproducirse, llegará un momento en que los Individuos tengan que morir. Éste es el principio de la selección natural; a los Individuos más aptos, la muerte les llegará más tarde, y tendrán más posibilidades de que sus genes estén presentes en la nueva generación.

Dicho fin atenderá a tres posibles causas. En primer lugar, tenemos la salud. Si ésta desciende por debajo de 0, el Individuo morirá automáticamente. Sin embargo, si al inicio del turno, su salud tiene un valor entre 0 y 10, la probabilidad que tendrá el Individuo de morir se calculará con la siguiente fórmula:

$$prMuerteSalud = (100 - salud) / 100$$

Otro parámetro que podría causar la muerte del Individuo es el hambre. En cada turno, las reservas que tiene el Individuo disminuyen en una cantidad fija determinada por su resistencia y por una variable global del mundo. Cada vez que las reservas disminuyen, el hambre del Individuo aumenta, si éste no se alimenta. Cuando el hambre sobrepasa el valor umbral de 0.9, se calculará la probabilidad de que sobrevenga la muerte por inanición. Dado que el hambre de un Individuo es un parámetro que adopta valores entre 0 y 1, se utilizará ese mismo valor como probabilidad de muerte.

Por último, existe la posibilidad de que los Individuos fallezcan por causas naturales debido a su edad. En este caso, entrará en juego la esperanza de vida definida en su Genotipo. Cuando el Individuo se encuentre en un rango de edad que sea mayor a las

$\frac{3}{4}$  partes de su esperanza de vida, se calculará la probabilidad de que la muerte ocurra, de la siguiente manera:

$$\text{prMuerteEdad} = (\text{edad} - \text{eVida} * 0.75) / (\text{eVida} * 1.25 - \text{eVida} * 0.75)$$

Así pues, cuando el Individuo alcance una edad igual a su esperanza de vida, tendrá un 50% de probabilidades de morir. Nótese que en ningún caso un Individuo llegará a tener una edad que suponga más de un 25% más que su esperanza de vida, ya que al alcanzar ese valor, la probabilidad de muerte será de un 100%.

Estas probabilidades serán calculadas al principio de cada turno, seleccionándose aquella que obtenga un mayor valor. Así, si la muerte por salud es la más probable de las posibles causas, se utilizará el valor prMuerteSalud para calcular si el Individuo morirá en este turno o seguirá viviendo.

Cuando un Individuo muera, desaparecerá como Entidad del mundo, y será sustituido por un cadáver en su misma posición, cuya composición inicial sea la que tenía el Individuo antes de morir.

### 3.4.2. Entidades vegetales

Las entidades Vegetales conformarán la flora del ecosistema, aportando metabolitos vegetales de los cuales podrán alimentarse los Individuos cuya dieta los incluya. Dado que los Vegetales no se reproducen, al principio de cada turno los metabolitos vegetales que contiene cada entidad se regenerarán automáticamente, evitando así que desaparezcan. Dicha regeneración consistirá en aumentar su cantidad en un cierto valor, siempre que la suma de dichas cantidades en una misma entidad no supere las 100 unidades. El aumento estará determinado por la altitud en la que se encuentre colocado el Vegetal (a mayor altitud, menor será la regeneración) y por una variable global del mundo.

Sin embargo, si durante un turno un Individuo se alimenta de un Vegetal de manera que la suma de todos los metabolitos vegetales que éste último contiene baja hasta 0, el Vegetal se considerará “muerto” y desaparecerá del mundo. El Vegetal no volverá a regenerarse.

### **3.4.3. Entidades inertes: cadáveres**

Como se ha mencionado anteriormente, llega un momento en que los Individuos mueren y dejan de existir en el mundo como tales. Llegado ese momento, aparecerá en su posición una Entidad Inerte que representará el cadáver del Individuo. La finalidad de este cadáver es, al igual que en el caso de los Vegetales, servir como alimento a otros Individuos. Sin embargo, los metabolitos que aportará un cadáver serán metabolitos animales, además de carroña.

A la hora de crearse (a la muerte del Individuo), el cadáver tendrá la misma composición que tenía el Individuo antes de morir. A lo largo de los turnos, los metabolitos animales se irán descomponiendo, convirtiéndose en carroña. El ritmo al que ocurre este proceso estará influenciado de manera análoga a la regeneración de los Vegetales; cuanta mayor sea la altura, menor la descomposición. También estará ponderada por una variable global del mundo.

### **3.4.4. Organigramas de la toma de decisiones**

Partiendo de las bases establecidas en las secciones anteriores, pasaremos a describir, de manera básica, el flujo de la toma de decisiones por parte de los individuos. Para ello nos basaremos en una serie de organigramas, los cuales serán descritos a continuación.

En primer lugar, tenemos el proceso que realizan todos los individuos al principio de cada turno. Dicho proceso definirá la estrategia que el animal utilizará durante ese turno, teniendo en cuenta si ha de responder a alguna alarma o no. Además, dicha alarma podría ser ignorada como producto de la valentía de la entidad. En caso contrario, la alarma considerada prioritaria será atendida.

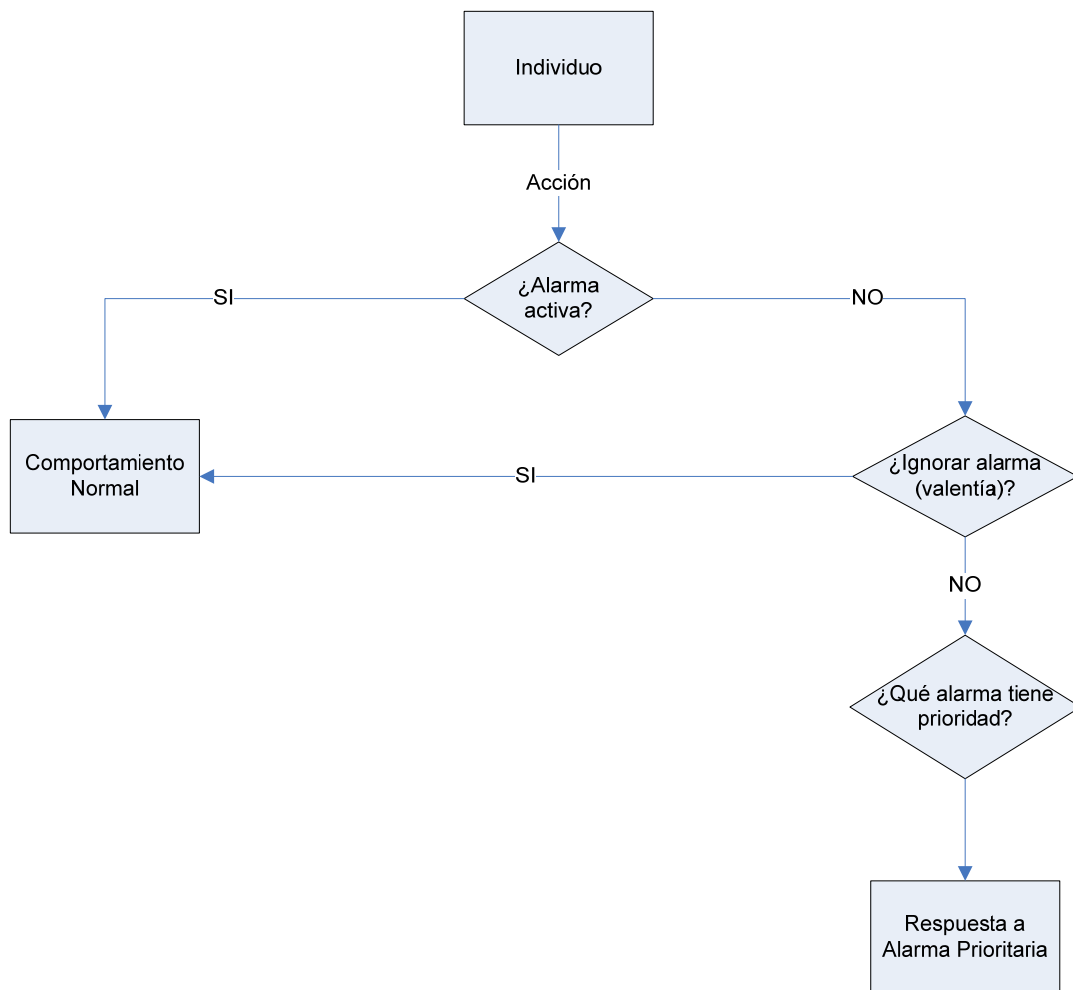


Figura 3.4.4.1 Organigrama de la toma de decisiones (básico)

Siguiendo este flujo, nos basaremos primeramente en el supuesto de que ninguna alarma debía ser activada (o esta fue ignorada). Así pues, el individuo enfocaría el turno siguiendo una estrategia Normal, con lo cual será su propia personalidad la que determine qué acciones llevará a cabo y, a través de ellas, qué actos reflejos activar. Dicha personalidad viene dada por sus características psicológicas. Dentro de las mismas, se decidirá mediante una tirada aleatoria cuál tener en cuenta. La probabilidad de activación



de cada una de ellas vendrá dada por el valor asignado a ese parámetro, dividido entre la suma de los valores de todas.

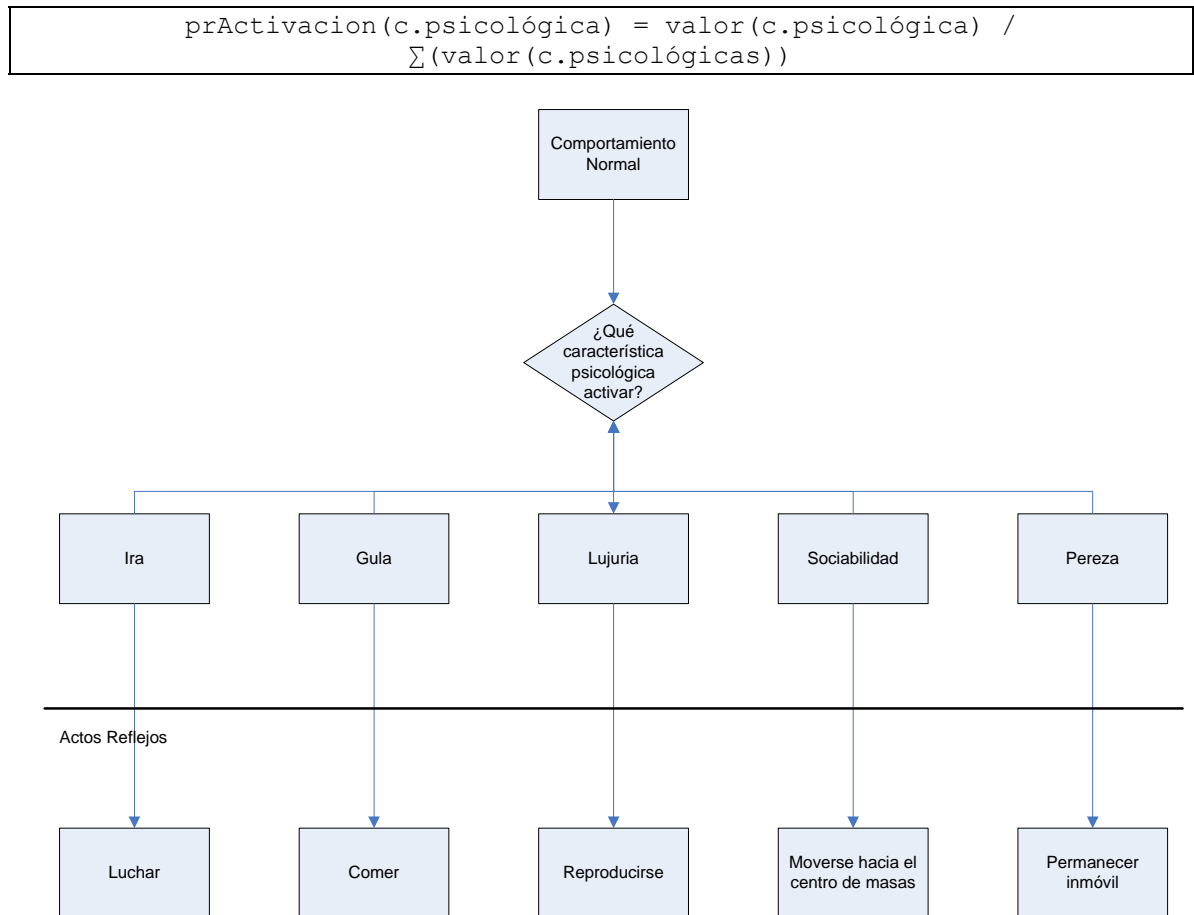


Figura 3.4.4.2 Organigrama de la toma de decisiones (comportamiento normal)

En cambio, si se ha activado alguna alarma que debemos atender, el individuo modificará su estrategia durante ese turno de manera acorde. En caso de encontrarse con más de una alarma susceptible de ser activada, se seguirá el orden de prioridad comentado en las secciones anteriores:

1. Depredador
2. Fatiga
3. Hambre
4. Reproducción

## 5. Salud

En función de la alarma a tratar, se activará una estrategia diferente y, por tanto, las acciones a realizar serán distintas. El siguiente organigrama recoge los posibles flujos:

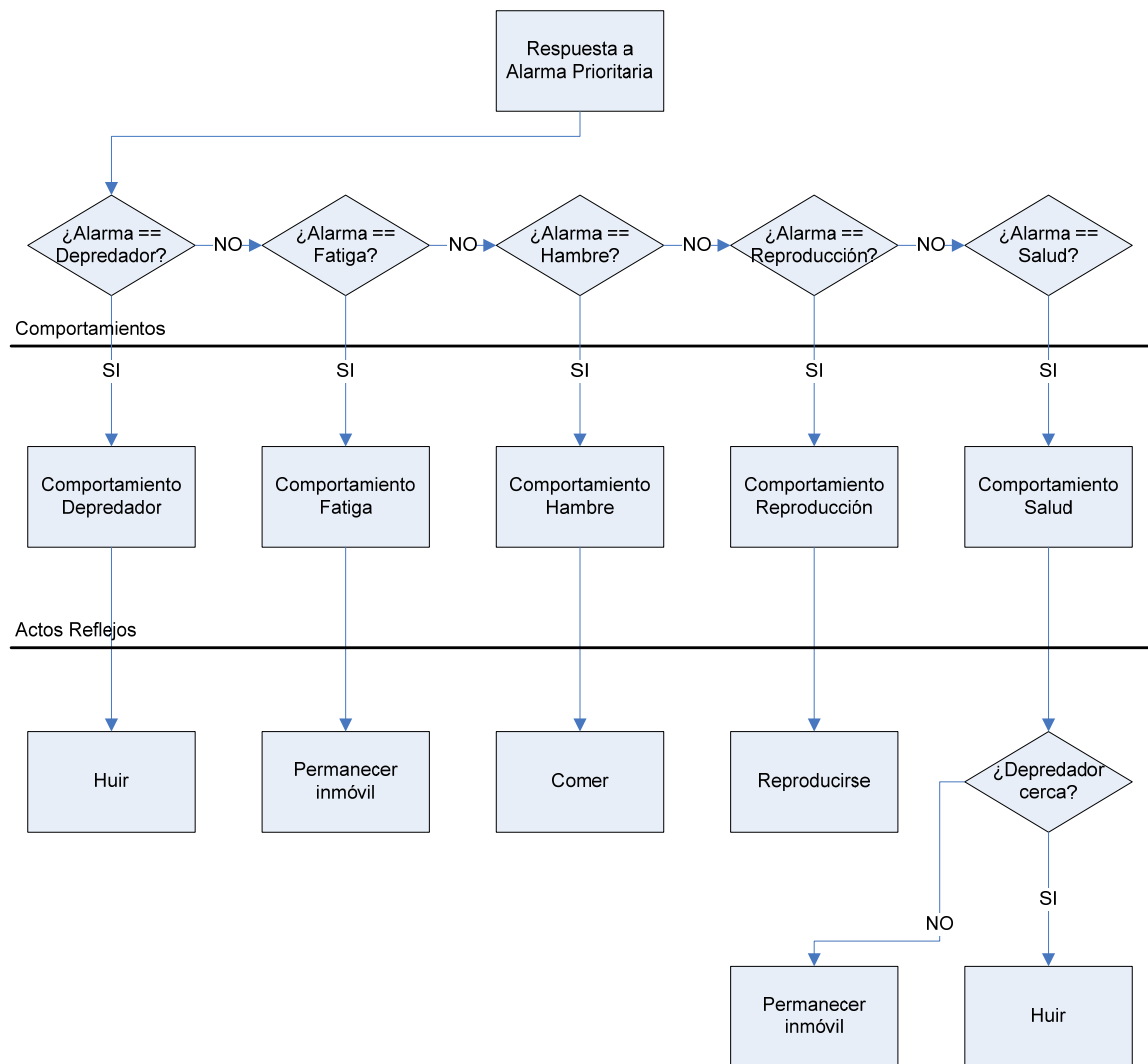


Figura 3.4.4.3 Organigrama de la toma de decisiones (alarmas)

## 4 Usabilidad

Para que la experiencia de la simulación sea completa, el usuario debe tener cierto control sobre lo que esté ocurriendo, ya sea de manera activa o pasiva. Para ello, hemos provisto a la aplicación de ciertos mecanismos que permiten una cierta interacción antes y durante la ejecución.

En primer lugar, el usuario especificará las especies que desea que poblen el mundo mediante un fichero de texto. Dicho fichero contendrá una línea por cada especie a crear, en la que se indicarán los datos de la misma, a saber:

- Nombre de la especie
- Número de individuos a generar
- Genotipo medio de la especie. Incluye:
  - Características físicas. Un valor numérico entre 0 y 100 para cada parámetro:

- Agudeza visual
- Alcance visual

Estos dos parámetros estarán relacionados, por lo que sumados no podrán sumar un valor distinto de 100.

- Resistencia
- Fuerza
- Velocidad

En este caso, son 3 los parámetros dependientes. Una configuración en la que sus valores no sumen 100 no será considerada válida.

- Esperanza de vida
- Descendencia

Estos parámetro se relacionad de manera similar a como lo hacen la agudeza y el alcance visual. Sin embargo, en este caso, la descendencia se multiplica por 10 antes de ser sumada a la esperanza de vida, para comprobar si ambas suman 100

- Alimentación: un valor booleano (“X” para positivo, “O” para negativo) por cada uno de los metabolitos posibles, indicando así cuáles podrán asimilar los individuos de esta especie (máximo 3).
- Composición: un valor numérico por cada uno de los metabolitos posibles, indicando qué cantidad de cada metabolito formará parte de la composición del individuo. Todos los valores deben sumar 100.
- Características psíquicas. Un valor numérico entre 0 y 1 para cada parámetro:
  - Agresividad
  - Gula
  - Lujuria
  - Sociabilidad
  - Pereza
  - Liderazgo
  - Valentía
- Número de la especie. Definirá el color con el que será representada en el mundo y en el radar.

La sintaxis de cada línea constará en la concatenación de todos los parámetros especificados separados por el símbolo “;”. No se admitirá una línea que contenga menos parámetros de los necesarios, o que no respete las normas establecidas anteriormente. Para los valores numéricos, se admitirá cualquier número decimal (utilizando el símbolo

“.” como separador entre decimales y enteros). Un ejemplo de fichero de entrada sería el siguiente:

```
Bichos;33;60;40;30;40;30;30;5.0;X;O;O;X;X;O;O;O;O;12;56;32;0;0.1;0.25;
1.0;0.6;1.0;0.5;1.0;0;

Lemmings;33;40;60;30;50;20;70;3.0;O;O;X;X;X;O;O;52;17;31;0;0.5;0.25;0.5;
0.5;1.0;1.0;0.5;1;

Critters;33;40;60;40;50;10;60;4.0;X;X;X;O;O;O;O;30;40;30;0;0.5;0.25;0.25
;0.0;1.0;0.5;1.0;2;
```

En este fichero estaríamos especificando tres especies. La primera de ellas tendría los siguientes parámetros:

- Nombre: Bichos
- Número inicial de individuos: 33
- Agudeza visual: 60
- Alcance visual: 40
- Resistencia: 30
- Fuerza: 40
- Velocidad: 30
- Esperanza de vida: 30
- Descendencia: 5
- Alimentación: asimilará los metabolitos V1, C1 y C2 (alimentación omnívora)
- Composición: C1 = 12, C2 = 56, C3 = 32
- Agresividad: 0.1
- Gula: 0.25
- Lujuria: 1.0
- Sociabilidad: 0.6
- Pereza: 1.0

- Liderazgo: 0.5
- Valentía: 1.0
- Número de la especie: 0

En caso de detectarse una línea errónea, será omitida y se continuará procesando el fichero de entrada. Esto quiere decir que, aunque se encuentre una especie cuya sintaxis sea incorrecta, las siguientes podrían ser añadidas correctamente.

Para que la aplicación pueda encontrar el fichero de configuración de las especies, deberá pasarse por parámetro a la hora de llamar a la aplicación. Además de éste, se especificará otro fichero con el que configuraremos las variables globales del mundo, así como los umbrales de las alarmas, y los parámetros de configuración del mundo. Dicho fichero contendrá cada valor separado por el símbolo “;”, siendo éstos valores los correspondientes a los siguientes parámetros:

- g\_descomposición
- g\_regeneración
- g\_esperanza
- g\_descendencia
- g\_resistencia
- g\_fuerza
- g\_velocidad
- g\_alcance
- Umbral alarma hambre
- Umbral alarma depredador
- Umbral alarma reproducción
- Umbral alarma fatiga
- Umbral alarma salud

- Número de vegetales totales
- Número de bosques
- Radio de los bosques

Todos estos parámetros, excepto los tres últimos, tendrán un valor entre 0 y 1. Para los parámetros de configuración de la vegetación generada en el mundo la única limitación impuesta es que tendrán que ser mayor que 0.

Una vez leídos ambos ficheros, se creará el mundo generando el número de individuos y la vegetación de manera acorde a los parámetros dados. Dichos individuos serán colocados en el mundo de manera aleatoria, al igual que se inicializará la vegetación para que puedan alimentarse de sus metabolitos vegetales.

Al final de la simulación podremos observar los resultados obtenidos en dos ficheros. El primero de ellos, “simulacion.log”, contendrá una traza de los eventos ocurridos durante la misma, así como una breve información sobre los mismos. En cambio, el fichero “stats.log” guardará un registro de las estadísticas de cada especie por turno, recogiendo datos como el número de individuos generados o las veces que éstos se alimentaron, entre otras. A continuación podemos ver un ejemplo del fichero generado con la traza de eventos:

```
0 [Turno 0] -> Creado: Bichos_0(0):[0;30,30,40,30;30,0;Alim:{OXXOOXX}
  Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:12,M4:56,M5:32,M6:0,} 0,0,0,0,1,0,1]

1 [Turno 0] -> Creado: Bichos_1(0):[50;0,20,40,40;30,5;Alim:{OXXOOXX}
  Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:12,M4:56,M5:32,M6:0,} 0,0,0,0,1,0,1]

...

32 [Turno 0] -> Creado: Bichos_32(0):[60;0,30,40,30;30,5;Alim:{OXXOOXX}
  Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:12,M4:56,M5:32,M6:0,} 0,0,0,0,1,0,1]

33 [Turno 0] -> Creado:
  Lemmings_0(1):[30;0,30,50,20;70,13;Alim:{XXOOOXX}
  Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:52,M4:17,M5:31,M6:0,} 0,0,0,0,1,1,0]

34 [Turno 0] -> Creado:
  Lemmings_1(1):[40;60,30,50,20;60,3;Alim:{XXOOOXX}
  Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:52,M4:17,M5:31,M6:0,} 0,0,0,0,1,1,0]

...
```

```
98 [Turno 0] -> Creado:
    Critters_32(2):[10;70,40,50,10;50,4;Alim:{OOOXXXX}
Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:30,M4:40,M5:30,M6:0,} 0,0,0,0,0,0,1]

99 [Turno 0] -> Critters_32: Individuo alimentandose de entidad
    en(999,23)->{M0:.00000,M1:.00000,M2:.00000,}

...

105 [Turno 0] -> Bichos_6: Individuo alimentandose de entidad en(242,-
    7)->{M0:.00000,}

...

387 [Turno 6] -> Critters_2: Individuo luchando contra Bichos_0

388 [Turno 6] ->      Daño producido en Bichos_0 por el ataque: 2.1457

389 [Turno 6] ->      Fatiga producida en Critters_2 por el ataque:
    13.668

390 [Turno 6] -> Bichos_0: Individuo respondiendo a ataque contra
    Critters_2

391 [Turno 6] ->      Daño producido en Critters_2 por el ataque: 17.316

392 [Turno 6] ->      Fatiga producida en Bichos_0 por el ataque: 4.6197

393 [Turno 6] -> Lemmings_27: Individuo alimentandose de entidad
    en(126,-13)->{M2:.16012,}

394 [Turno 6] -> Critters_2: Individuo luchando contra Bichos_0

395 [Turno 6] ->      Ataque esquivado

396 [Turno 6] -> Bichos_0: Individuo respondiendo a ataque contra
    Critters_2

2373 [Turno 25] -> Critters_37 se va a reproducir con Critters_60

2374 [Turno 25] -> Creado:
    Critters_63(2):[40;60,40,50,10;60,0;Alim:{OOOXXXX}
Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:30,M4:40,M5:30,M6:0,} 0,0,0,0,1,0,1]

2375 [Turno 25] -> Creado:
    Critters_64(2):[40;60,40,50,10;60,14;Alim:{OOOXXXX}
Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:30,M4:40,M5:30,M6:0,} 0,0,0,0,1,0,1]

2376 [Turno 25] -> Creado:
    Critters_65(2):[40;60,40,50,10;60,4;Alim:{OOOXXXX}
Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:30,M4:40,M5:30,M6:0,} 0,0,0,0,1,0,1]

2377 [Turno 25] -> Creado:
    Critters_66(2):[40;60,40,50,10;60,4;Alim:{OOOXXXX}
Compos:{M0:0,M1:0,M2:0,M3:30,M4:40,M5:30,M6:0,} 0,0,0,0,1,0,1]
```



...

2554 [Turno 26] -> Bicharracos\_11: Individuo muerto

Un ejemplo del fichero generado con las estadísticas sería el siguiente:

```
Turno 0

Estadísticas de la especie Bichos:

    Número actual de individuos: 50
    Individuos generados en el mundo: 50
    Población inicial: 50
    Natalidad durante la ejecución: 0
    Mortalidad durante la ejecución: 0

    Muertes por salud: 0
    Muertes por hambre: 0
    Muertes por edad: 0

    Peleas empezadas por individuos de esta especie: 0
    Daño causado a otros individuos por los integrantes de esta
    especie:      0.00
    Daño causado a los integrantes de esta especie por parte de
    otros individuos:      0.00
    Número de veces que los individuos de esta especie se han
    reproducido: 0
    Número de veces que los individuos de esta especie se han
    alimentado: 0

Comportamientos adoptados por los individuos de esta especie en este
turno:

    Depredador: 0
    Fatiga: 0
    Hambre: 0
    Reproduccion: 0
    Salud: 0
    Normal: 0
```

...

Turno 73

Estadísticas de la especie Bichos:

Número actual de individuos: 22

Individuos generados en el mundo: 140

Población inicial: 50

Natalidad durante la ejecución: 90

Mortalidad durante la ejecución: 118

Muertes por salud: 48

Muertes por hambre: 68

Muertes por edad: 2

Peleas empezadas por individuos de esta especie: 985

Daño causado a otros individuos por los integrantes de esta especie: 8562.77

Daño causado a los integrantes de esta especie por parte de otros individuos: 8968.93

Número de veces que los individuos de esta especie se han reproducido: 42

Número de veces que los individuos de esta especie se han alimentado: 411

Comportamientos adoptados por los individuos de esta especie en este turno:

Depredador: 0

Fatiga: 0

Hambre: 13

Reproduccion: 0

Salud: 1

Normal: 8

## **5 Experimentación**

En esta sección desarrollaremos las pruebas realizadas con el sistema implementado. De esta manera, documentaremos la consecución de los objetivos fijados para nuestra aplicación.

En primer lugar, comentaremos de manera breve el entorno que se configuró para realizar las pruebas. En dicho apartado especificaremos los parámetros de configuración elegidos y el por qué de tales elecciones.

Posteriormente, recogeremos los resultados de varias pruebas realizadas, orientadas a resaltar la importancia de los diferentes parámetros configurables de cada especie. El objetivo de estas pruebas no es estudiar en profundidad la influencia de unos parámetros respecto a otros, pues sería demasiado complejo, y no es la intención de este estudio. Por el contrario, observaremos el impacto de cada parámetro por separado en las posibilidades de supervivencia de una especie, en función del valor asignado.

### **5.1. Entorno de pruebas**

Para estudiar de manera coherente la influencia de los diferentes parámetros en las posibilidades de supervivencia de los individuos, antes debemos configurar un entorno válido para la realización de las pruebas. Dicho entorno vendrá dado por las opciones de configuración que definen el mundo, dado que afectarán globalmente a todas y cada una de las acciones que se desarrollen en él.

Con objeto de encontrar una configuración válida del mismo, es necesario “fijar” las características de las especies, estableciendo las mismas para las 3 que conformarían esta fase de la experimentación. De esta manera, dichas características no influirían en el resultado de las pruebas, pudiendo aislar el efecto de los distintos parámetros de la configuración que queremos evaluar.

Si queremos saber cuándo un conjunto de parámetros es mejor o peor que otro, debemos fijar un criterio de evaluación de dichas configuraciones. En este caso, el

número de turnos que transcurrían hasta que el último individuo parece nos puede servir como medida de lo sostenible que es un entorno en las condiciones dadas.

Otro aspecto a decidir es el método utilizado para ejecutar la experimentación como tal. En esta fase, la decisión fue probar por separado valores distintos de un mismo parámetro, dejando fijos los demás, para encontrar un valor orientativo que nos sirviese a la hora de configurar el conjunto de valores final. De esta manera, se estudiaron uno por uno todos los parámetros, hasta conseguir una configuración base.

Si nos detuviésemos en este punto, estaríamos dando por hecho la independencia de unos parámetros con otros. Para evitar caer en presunciones erróneas, decidimos trabajar con la configuración base alcanzada, realizando pequeñas variaciones sobre los valores obtenidos, y observando como influían en el resultado de la experimentación.

Como resultado, obtuvimos una nueva configuración base que utilizar en la siguiente fase de la experimentación. A continuación se resume, uno a uno, los valores elegidos para cada parámetro, junto con una breve explicación teórica de las razones que hacen que esos valores proporcionen un entorno óptimo para nuestra simulación.

- **g\_descomposición**

Valor: 1.0

Comentario: A la vista de las pruebas, no pareció necesario potenciar ni reducir la descomposición de los cadáveres durante la simulación

- **g\_regeneración**

Valor: 2.0

Comentario: Puesto que los individuos parecían agotar con demasiada rapidez las reservas vegetales del entorno, decidimos potenciar la regeneración de los mismos. Un valor de 2 en este parámetro pareció ser suficiente.

- **g\_esperanza**

Valor: 1.0

Comentario: La esperanza de vida no pareció necesitar de ser modificada durante las pruebas. Sin embargo, si se indicasen valores muy bajos en este parámetro, podría ser necesaria su potenciación.

- **g\_descendencia**

Valor: 1.0

Comentario: Al igual que sucede con la esperanza de vida, el valor por defecto pareció ser suficiente durante la experimentación.

- **g\_resistencia**

Valor: 0.75

Comentario: La resistencia global del mundo parecía ser demasiado elevada, siendo demasiado duro para los individuos conservar las reservas de metabolitos que necesitaban para sobrevivir. Reduciéndola, disminuyó también la frecuencia con la que los individuos morían de hambre.

- **g\_fuerza**

Valor: 1.0

Comentario: La fuerza de los individuos aparentó ser equilibrada durante los conflictos entre los mismos.

- **g\_velocidad**

Valor: 25.0

Comentario: Dado que conceptualmente el simulador se diseñó para escenarios mucho más pequeños, la separación entre los individuos dificultaba en sobremanera su interacción. Al potenciar la velocidad, se aumentó el rango de movilidad de los mismos, siendo más fácil que llegasen a interactuar entre sí con objeto de reproducirse o luchar.

- **g\_alcance**

Valor: 1.0

Comentario: El alcance visual de los individuos no supuso un problema, una vez arreglada la velocidad.

- **Umbral alarma hambre**

Valor: 0.35

Comentario: Decidimos rebajar el umbral bajo el cuál la alarma de hambre era activada, con objeto de evitar que los individuos la ignorasen durante demasiado tiempo y resultasen muertos por inanición.

- **Umbral alarma depredador**

Valor: 0.5

Comentario: Un valor estándar para el umbral de esta alarma nos pareció correcto durante la simulación

- **Umbral alarma reproducción**

Valor: 0.5

Comentario: Un valor estándar para el umbral de esta alarma nos pareció correcto durante la simulación

- **Umbral alarma fatiga**

Valor: 0.5

Comentario: Un valor estándar para el umbral de esta alarma nos pareció correcto durante la simulación

- **Umbral alarma salud**

Valor: 0.5

Comentario: Un valor estándar para el umbral de esta alarma nos pareció correcto durante la simulación

- **Número de vegetales totales**

Valor: 10.000

Comentario: Otra medida que tomamos para evitar el alto número de muertes por hambre en la simulación fue poner a disposición de los individuos un amplio número de entidades vegetales para su alimento. Al final, se optó por el máximo de unidades soportado, dado que la magnitud del escenario parecía acorde con dicha cantidad.

- **Número de bosques**

Valor: 200

Comentario: Además de la cantidad, la dispersión de la vegetación también influye en la disponibilidad de los metabolitos vegetales. Un valor de 200 bosques resultó suficiente, produciendo bosques lo suficientemente frondosos para ser alimentar a una manada de individuos a lo largo del tiempo.

- **Radio de los bosques**

Valor: 250

Comentario: Dada la cantidad de árboles por bosque, necesitábamos un valor que los dispersase lo suficiente como para ser detectados por los individuos, sin existir demasiada separación entre los mismos.

## **5.2. Resultado de la experimentación**

Una vez establecido un entorno sobre el que realizar las pruebas, pasamos a la siguiente fase de la experimentación. El objetivo era observar, de manera sencilla, cómo influían los parámetros en las posibilidades de supervivencia de una especie.

A tal efecto, se realizaron una serie de pruebas con los distintos parámetros. Dichas pruebas consistían en establecer valores de distintos rangos (altos, medios y bajos) para el mismo parámetro en tres especies diferentes, manteniendo fijos los valores de las demás características, y ejecutar la simulación. Consideramos que la especie con mayor tendencia a sobrevivir sería la agraciada con un valor más óptimo en dicho parámetro.

Dada la multitud de factores aleatorios que podían influir en los resultados, cada batería de pruebas se efectuó hasta 10 veces, observando el comportamiento resultante de

las mismas y descartando aquellas situaciones marginales (por ejemplo, que todos los individuos pudiesen tempranamente) para evitar que afectasen a los resultados.

Para mayor claridad, dividimos las pruebas entre aquellas relacionadas con las características físicas del individuo y aquellas referentes a su psicología.

### **5.2.1. Pruebas sobre las características físicas**

Dentro de las características físicas (ver especificaciones de los individuos), contemplamos las 9 configurables para nuestras pruebas, a saber:

- Alcance visual: valor entero [0, 100]
- Agudeza visual: valor entero [0, 100]
- Resistencia: valor entero [0, 100]
- Fuerza: valor entero [0, 100]
- Velocidad: valor entero [0, 100]
- Esperanza de vida: valor entero mayor que 0
- Descendencia: valor entero mayor que 0
- Alimentación: vector booleano con 7 valores “X” o “O”, indicando como positivos (“X”) los 3 metabolitos asimilables por el individuo

Sin embargo, dichas características no pueden ser estudiadas independientemente. Como ya se ha explicado en la composición de los individuos, las características físicas están divididas en varios grupos, dentro de los cuales existe una relación de dependencia. Por ejemplo, el alcance y la agudeza visual se limitan entre sí, debiendo sumar 100 sus valores; si aumentamos uno, tendremos que disminuir el otro.

Por tanto, las pruebas también han de ser divididas conforme a estos grupos, ya que de lo contrario estaríamos omitiendo una información importante (los individuos no tendrían los mismos valores para todos los parámetros que no estamos testeando)



### 5.2.1.1. Alcance - agudeza visual

El alcance visual de un individuo mide la distancia hasta la que éste podrá detectar objetos, mientras que la agudeza establece la precisión con la que éstos serán detectados (es decir, que estén realmente ahí, o por el contrario su percepción tenga una cierta variación respecto a su situación real en el mundo). Para esta prueba, comparamos 3 especies con distintas configuraciones para estos dos parámetros.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Especie	Alcance visual	Agudeza visual	Individuos generados	Turnos sobrevividos
Bichos	75	25	48,90%	87,43%
Lemmings	50	50	24,45%	70,85%
Critters	25	75	26,65%	51,28%

Tabla 5.1 Experimentación del alcance – agudeza visual

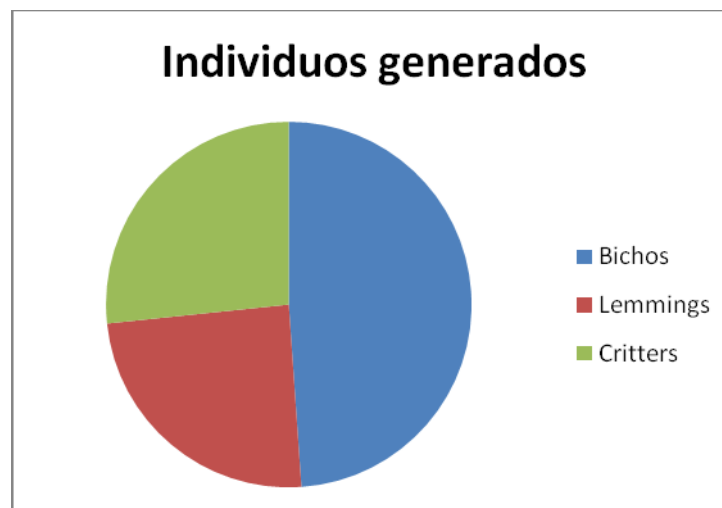


Figura 5.1.1 Individuos generados – alcance/agudeza visual

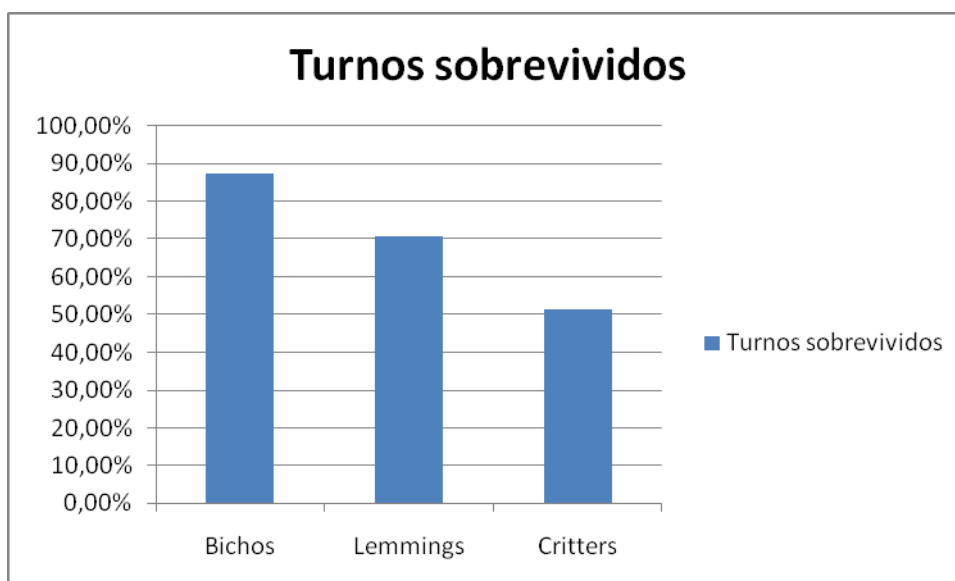


Figura 5.1.2 Turnos sobrevividos – alcance/agudeza visual

A la vista de los datos, podemos concluir que las especies se ven favorecidas por un mayor alcance visual, frente a la agudeza. Esto puede deberse al hecho de que los individuos detecten los objetos desde lejos utilizando la vista, y al acercarse se sirvan de su tacto para localizarlos de manera más precisa. Por ejemplo, entre dos individuos con distinto alcance visual, el que tenga un mayor radio será capaz de detectar un mayor número de alimentos. Por el contrario, divisará antes a los depredadores, teniendo mayor margen de tiempo para huir de ellos.

#### 5.2.1.2. Resistencia - Fuerza - Velocidad

La resistencia mide, principalmente, la capacidad que tendrá el individuo de realizar acciones sin fatigarse demasiado. También influye en otros aspectos, como la resistencia frente a ataques de otros individuos o la velocidad con la que sus reservas serán consumidas, provocando la aparición del hambre en el individuo (lo que le podría llevar a la muerte).

La fuerza sirve como indicador de la potencia del individuo. Un valor alto para este parámetro capacitaría al individuo para realizar ataques más dañinos para la integridad de sus víctimas, haciendo más fácil el acto de cazar, además de imponer un cierto respeto que haría que los demás individuos evitasen entrar en conflicto con el mismo.

Por último, la velocidad define el movimiento de los individuos, siendo capaces de recorrer una distancia mayor cada turno si ésta adquiere un valor alto. Además, y al igual que los otros dos parámetros, tiene una cierta influencia en las peleas, ya que da al individuo la capacidad para evadir ataques, así como proporcionarle precisión para asestarlos.

Como sucedía en el primer caso de pruebas, los parámetros envueltos están relacionados y limitados entre sí, debiendo sumar 100 el total de los valores asignados. Para realizar pruebas de la misma naturaleza, esto es, aumentando uno de los parámetros frente a los otros en distintas configuraciones e incluyendo una que tuviera valores equilibrados, necesitamos 4 especies. Aumentar de esta manera el número de individuos iniciales incide directamente sobre la fluidez de la simulación, elevando así la carga computacional.

Por ello, fue necesario contar con un entorno de pruebas más potente. Una vez realizada la experimentación en dicho entorno, se obtuvieron los siguientes resultados:

<b>Especie</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Individuos generados</b>	<b>Turnos sobrevividos</b>
Bichos	50	25	25	37,33%	100,00%
Lemmings	25	50	25	22,03%	49,79%
Critters	25	25	50	19,34%	37,52%
Ewoks	34	33	33	21,30%	61,71%

Tabla 5.2 Experimentación de resistencia-fuerza-velocidad



Figura 5.2.1 Individuos generados – resistencia/fuerza/velocidad

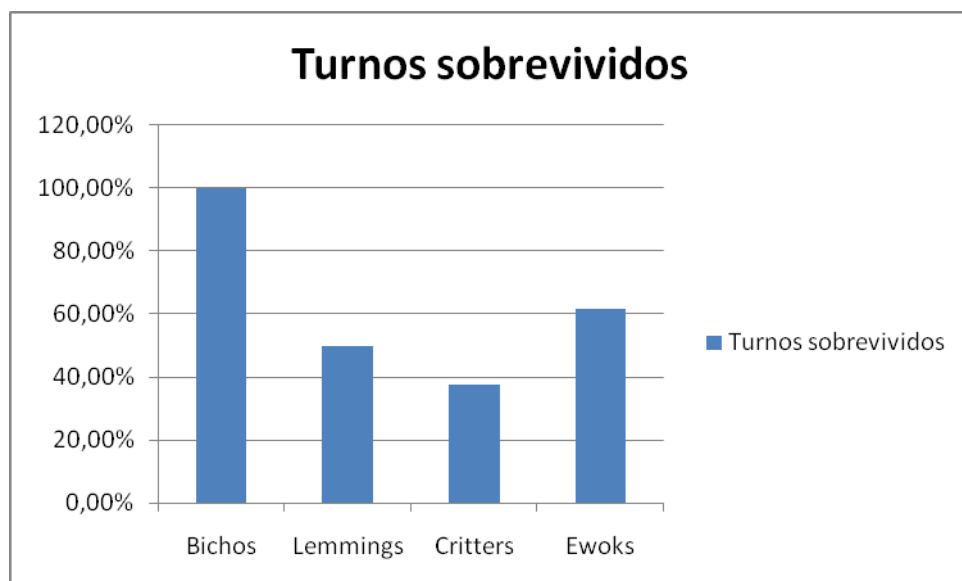


Figura 5.2.2 Turnos sobrevividos - resistencia/fuerza/velocidad

Los resultados muestran una mejor adaptación de la especie favorecida con mayor resistencia. Este hecho tiene sentido, dado que aquellos individuos más robustos soportarán mejor la escasez de alimentos o los ataques de otros individuos. Además, obtenemos que la fuerza también es un parámetro para el que un valor alto es recomendable, ya que favorece a los individuos, permitiéndoles imponerse a especies más débiles. Por último, no parece que una mayor velocidad influya demasiado en las posibilidades de supervivencia de los animales, a pesar de estar más ponderada por la

configuración del entorno. Una configuración más moderada parece ser más apropiada que una en la que los individuos se muevan con agilidad, descuidando otros aspectos.

### 5.2.1.3. Esperanza de vida - Descendencia

La esperanza de vida mide la cantidad de turnos que **probablemente** vivirá el individuo. Dicho de otra manera, el individuo tendrá una probabilidad de fallecer creciente según su edad se acerque a su esperanza de vida, dentro de un cierto rango. Pasado el límite marcado por este parámetro, la probabilidad seguirá creciendo, hasta que en cierto punto alcanzará un valor de 1, lo que impedirá que la existencia del individuo se prolongue aún más. Como dicha probabilidad obtiene un valor de 0.5 en el momento exacto en que el individuo alcanza la esperanza de vida, podemos ver este parámetro como una “media” de los turnos que durarían una serie de individuos con un valor común para el mismo; por ejemplo, una misma especie (sin tener en cuenta posibles mutaciones).

La descendencia establece cuántos hijos tendrá el individuo a la hora de reproducirse. De esta manera, cuando un individuo realiza esta acción, se generarán tantos individuos semejantes a él (y a su pareja) como indique este parámetro.

Ambos parámetros, como se ha mencionado anteriormente, están relacionados o limitados mutuamente. La fórmula que relaciona a ambos sería:

$$esperanza + descendencia * 10 < 100$$

Por esta razón, ambos parámetros deben ser analizados conjuntamente, al igual que en los anteriores estudios.

En este caso, optamos por una estrategia similar a la utilizada con la agudeza y el alcance visual:

- Una especie tendría un valor alto para el primer parámetro y bajo para el segundo
- Otra tendría un valor equilibrado para ambos
- Una tercera especie tendría un valor alto para la descendencia, y bajo para la esperanza.

La siguiente tabla muestra los resultados recogidos:

Especie	Esperanza de vida	Descendencia	Individuos generados	Turnos sobrevividos
Bichos	40	6	88,67%	96,82%
Lemmings	50	5	8,41%	91,12%
Critters	60	4	2,92%	69,27%

Tabla 5.3 Experimentación de esperanza de vida – descendencia

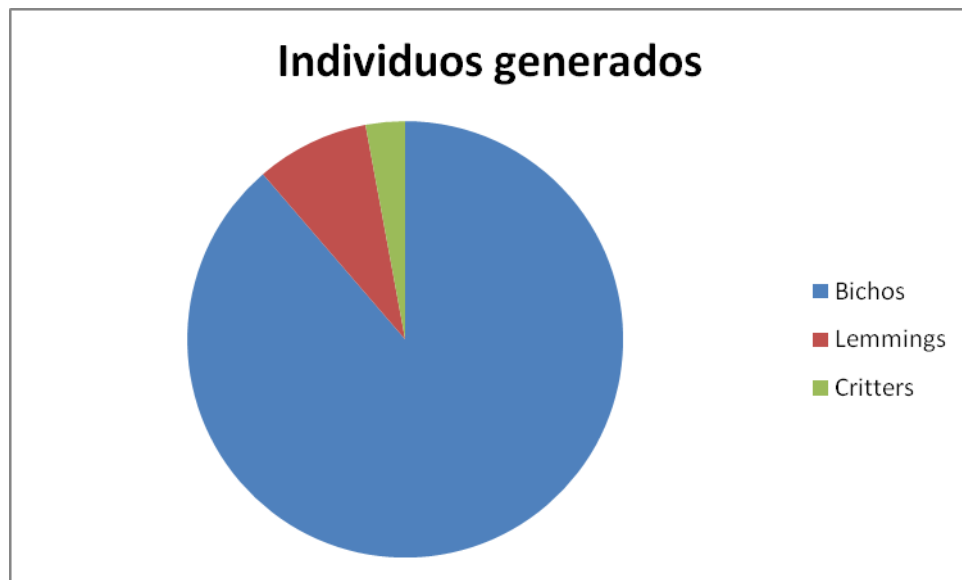


Figura 5.3.1 Individuos generados – esperanza de vida/descendencia

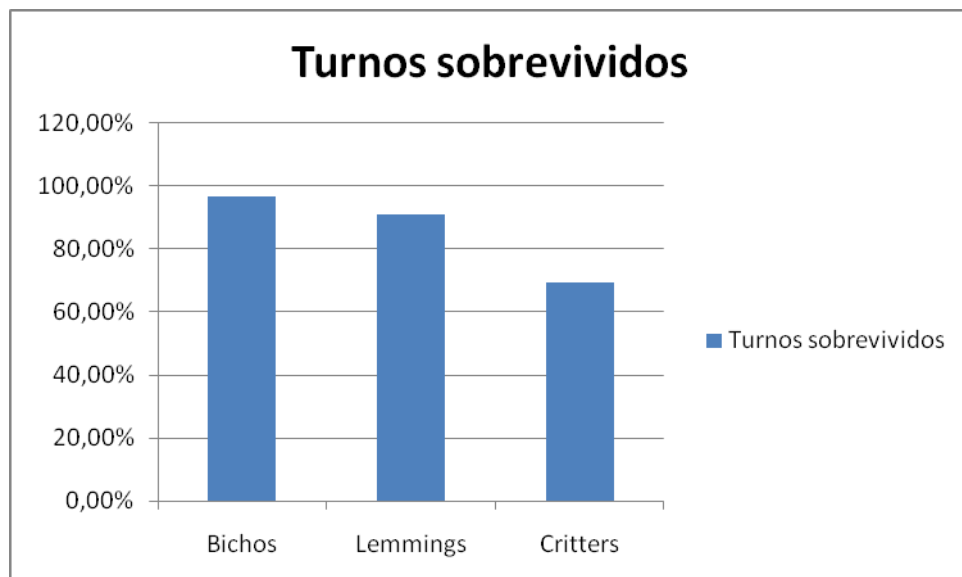


Figura 5.3.2 Turnos sobrevividos - esperanza de vida/descendencia

Estos datos reflejan una clara superioridad por parte de la primera especie; por tanto, la configuración óptima consistiría en tener una descendencia mayor frente a una

esperanza de vida más reducida. Esta estrategia la podemos encontrar fácilmente en la naturaleza; aquellos animales pequeños, cuya supervivencia es más difícil en comparación con otros individuos más grandes, suelen tener camadas más numerosas, para asegurarse de que sus genes pasan a la siguiente generación. Además, si observamos aquella especie con una esperanza de vida y descendencia moderadas entre sí, vemos que su supervivencia casi alcanzó la de la primera, pero con un número de individuos generado muy inferior.

#### 5.2.1.4. Alimentación

La alimentación de los individuos consiste en un vector booleano que indica qué metabolitos puede asimilar el individuo. Teniendo en cuenta que existen 3 metabolitos animales, 3 vegetales y 1 consistente en carroña, podemos encontrar los siguientes modelos de alimentación:

- Herbívoros
- Carnívoros
- Carroñeros
- Omnívoros

Para este caso de pruebas se hizo necesario, por tanto, el uso de una configuración con 4 especies, al igual que con el grupo resistencia-fuerza-velocidad. También se dispuso de un entorno de pruebas más potente destinado a tal efecto, ya que un mayor número de individuos de partida aumentaba la complejidad de la simulación, por lo que se hacía necesaria una mayor capacidad de computación.

Los resultados de las simulaciones fueron:

Especie	Alimentación	Individuos generados	Turnos sobrevividos
Bichos	Herbívoro	27,20%	75,58%
Lemmings	Omnívoro	46,74%	94,50%
Critters	Carnívoro	12,25%	54,27%
Ewoks	Carroñero	13,80%	62,65%

Tabla 5.4 Experimentación de la alimentación



Figura 5.4.1 Individuos generados – alimentación

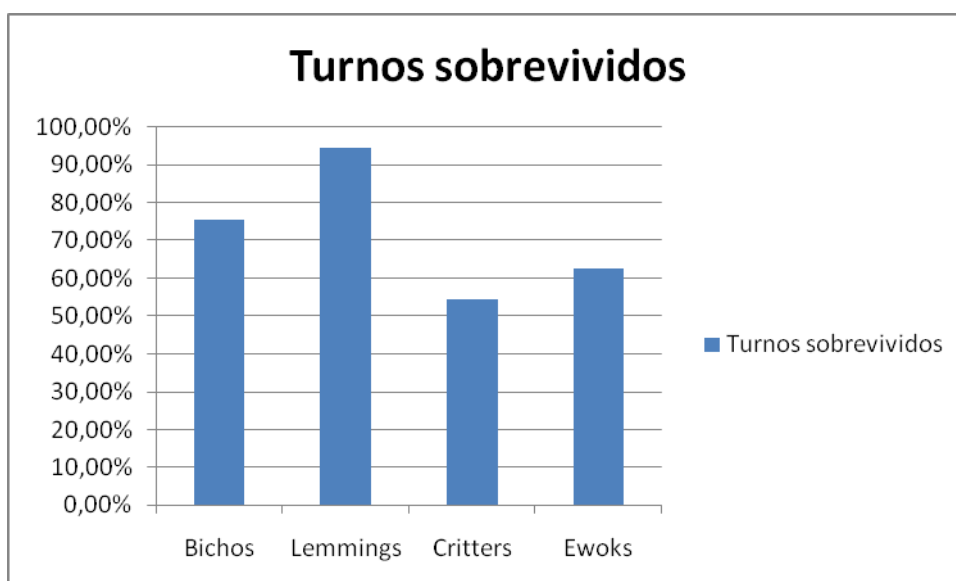


Figura 5.4.2 Individuos generados – alimentación

Como era de esperar, la mayor versatilidad de la configuración omnívora se vio claramente favorecida a la hora de adaptarse al entorno. En segundo lugar, tenemos que la estrategia herbívora era una estrategia evolutiva más estable que las otras dos, al no depender de la caza de otros individuos para obtener los metabolitos necesarios. En cuanto a las dos estrategias restantes, el hecho de poder alimentarse de carroña generada por la descomposición de otros individuos muertos, sin necesidad de pelear con ellos directamente, dio una ligera ventaja a la especie carroñera frente a la carnívora pura. En



cualquier caso, estos resultados podrían variar en sobremanera dependiendo de la composición de las especies puestas en juego; una especie compuesta en gran parte por metabolitos muy buscados por las demás podría ser un blanco fácil y quedar erradicada del mundo de modo temprano.

### **5.2.2. Pruebas sobre las características psicológicas**

Además de las características físicas, los individuos ven su comportamiento afectado por sus características psicológicas. Éstas se relacionan directamente con la toma de decisiones, y se resumen a continuación:

- Agresividad: valor decimal [0, 1]
- Gula: valor decimal [0, 1]
- Lujuria: valor decimal [0, 1]
- Sociabilidad: valor decimal [0, 1]
- Pereza: valor decimal [0, 1]
- Liderazgo: valor decimal [0, 1]
- Valentía: valor decimal [0, 1]

#### **5.2.2.1. Agresividad**

La agresividad de un individuo define su tendencia a entrar en conflictos con los demás seres que pueblan el mundo. Así, un individuo con una agresividad alta será más proclive a empezar peleas con los individuos que tenga a su alcance.

Las peleas suponen la acción más directa a la hora de influir en la supervivencia de otros seres, y es básica para la competencia por los recursos. Si una especie es muy agresiva, sus individuos tenderán más a pelear y, en caso de ganar, tendrán acceso a una cuota superior de recursos.

Sin embargo, esto supone un arma de doble filo. Entrar en una pelea también afecta negativamente a las probabilidades de sobrevivir de un individuo, puesto que tanto su fatiga como su salud se verán afectadas.

La significancia de esas alteraciones dependerá, principalmente, de las características físicas del individuo (velocidad, fuerza y resistencia), pero esos parámetros ya se estudiaron con anterioridad. Este estudio se centra en la influencia del número de peleas, como consecuencia directa de las variaciones en el parámetro de la agresividad, en la supervivencia de las especies.

Las pruebas se realizaron, como en casi todos los casos, utilizando tres especies distintas con valores alto, medio y bajo para este parámetro. Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

Especie	Agresividad	Individuos generados	Turnos sobrevividos
Bichos	0,75	26,24%	56,36%
Lemmings	0,5	36,77%	83,17%
Critters	0,25	36,99%	84,23%

Tabla 5.5 Experimentación de la agresividad



Figura 5.5.1 Individuos generados – agresividad

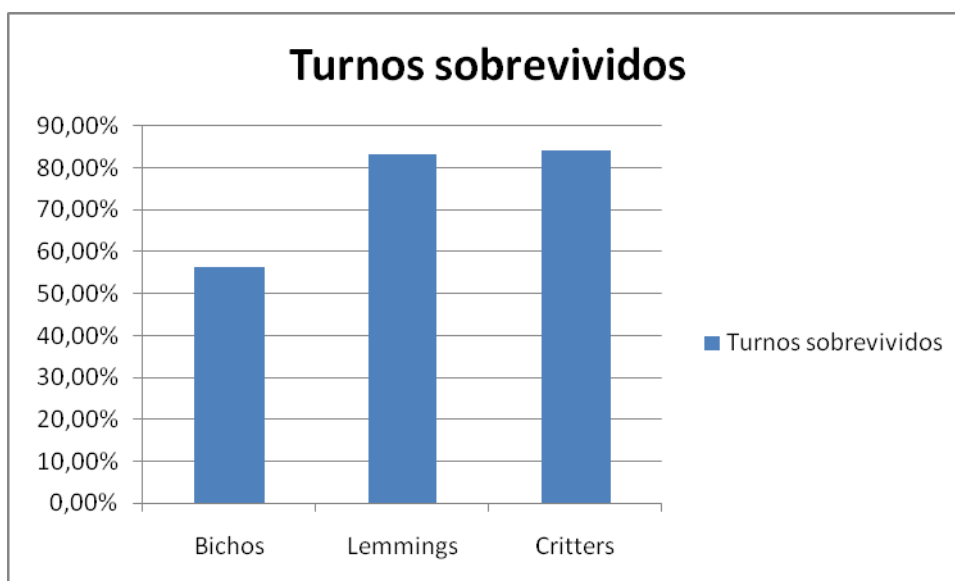


Figura 5.5.2 Turnos sobrevividos – agresividad

Los resultados muestran que una alta agresividad no es una estrategia evolutivamente estable bajo estas condiciones. Por el contrario, unos valores bajos o moderados en este parámetro sí conforman una buena configuración para las especies, dado que las agraciadas con estos valores mostraron mayor capacidad para sobrevivir y generar individuos durante las simulaciones.

#### 5.2.2.2. Gula

La gula establece la frecuencia con la que un individuo intentará alimentarse. Un valor alto para este parámetro hará que el animal busque alimento con mayor asiduidad. Por el contrario, un valor bajo significaría que el individuo sólo intentaría alimentarse cuando sea absolutamente necesario, esto es, cuando se active su alarma por hambre.

Este hecho no sólo tendría influencia sobre el mismo individuo; dado que los recursos del entorno son limitados, si el individuo consume alimentos aún cuando no es necesario, haría que dichos metabolitos no estén disponibles para otras entidades. Esto podría aumentar las posibilidades de que sean sus genes y no otros los que pasen a la siguiente generación, ya que disminuiría las probabilidades de supervivencia de otros seres; sin embargo, podría incidir negativamente en los miembros de su misma especie, reduciendo así las posibilidades de reproducción.

Además, el mismo individuo podría encontrarse sin recursos; en el caso de los metabolitos vegetales, si las reservas de una planta llegan a 0, la misma morirá, no siendo capaz de regenerarse y por tanto quedando inhabilitada para proporcionar más recursos.

Por último, si los metabolitos asimilables por un individuo con mucha gula forman parte de la composición de otros individuos, éste podría llegar a iniciar peleas con esos animales para alimentarse de sus cuerpos. Como hemos visto en el estudio de la agresividad, este hecho podría tener resultados muy variados.

Un factor que incidiría en los resultados de este estudio sería, fundamentalmente, la alimentación del individuo, además de la composición de aquellas entidades que tuviese cerca. Sin embargo, como se ha comentado al principio de la experimentación, no es la intención de este estudio observar la interacción entre distintos parámetros de la configuración de una especie. Por tanto, nos limitaremos a trabajar con tres valores para éste parámetro, aplicados a tres especies distintas: alto, medio y bajo.

La siguiente tabla muestra los resultados alcanzados durante las pruebas:

<b>Especie</b>	<b>Gula</b>	<b>Individuos generados</b>	<b>Turnos sobrevividos</b>
Bichos	0,75	12,42%	36,61%
Lemmings	0,5	14,01%	53,56%
Critters	0,25	73,56%	99,03%

Tabla 5.6 Experimentación de la gula

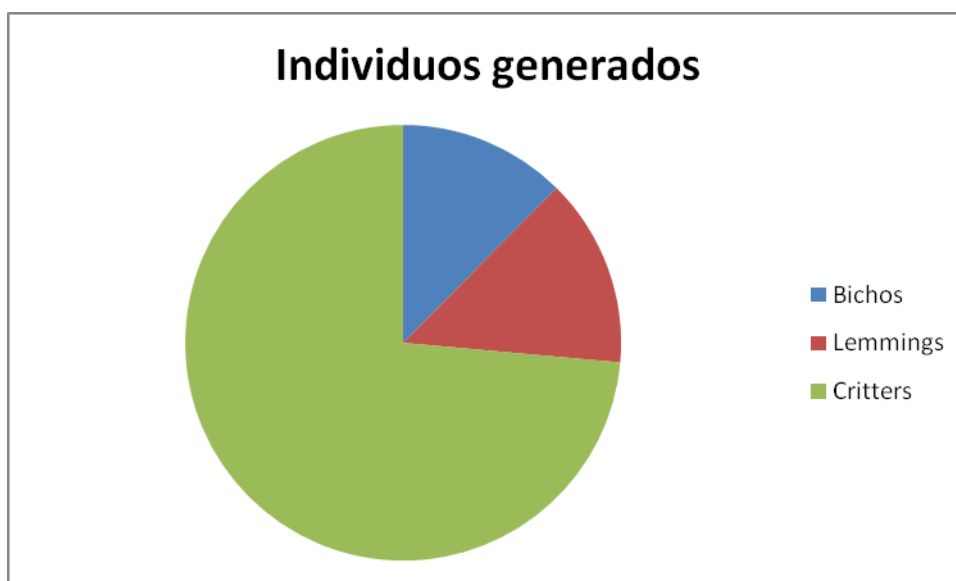


Figura 5.6.1 Individuos generados – gula

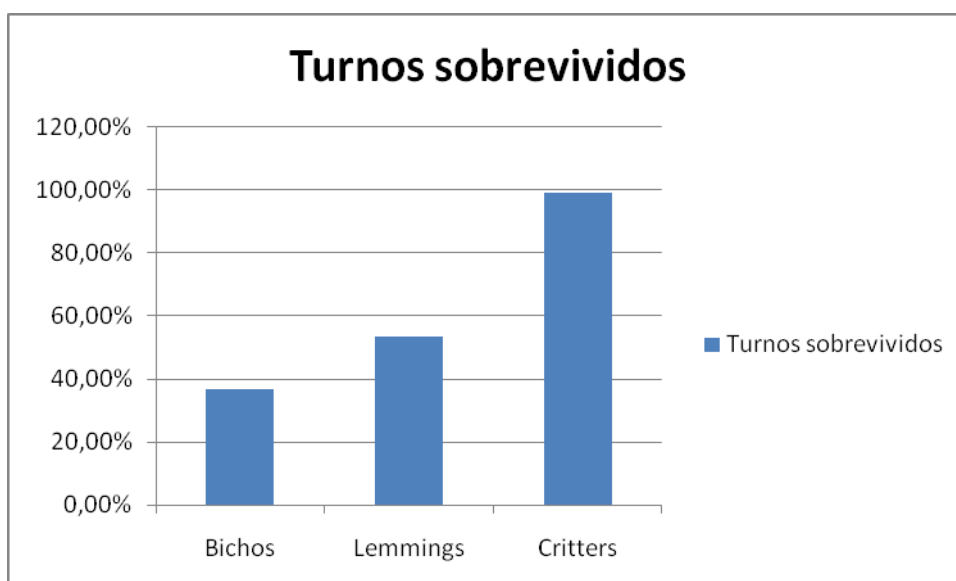


Figura 5.6.2 Turnos sobrevividos – gula

Con los resultados en la mano, queda bastante claro que un valor bajo para este parámetro sería el más conveniente. Las razones pueden ser varias, desde la nocividad de una competencia por los recursos entre individuos de la misma especie hasta la falta de atención a otras necesidades (reproducción, huída de un posible depredador), resultando más decisivas que mantener al individuo alimentariamente satisfecho. Sin embargo, concluir de manera tajante que un valor bajo para este parámetro no sería correcto, puesto que haría falta tener en cuenta otros muchos factores para poder afirmarlo con rotundidad.

### 5.2.2.3. Lujuria

La lujuria de un individuo indica la preferencia que tendrá el individuo por reproducirse frente a otras acciones.

El acto de reproducción de un individuo implica la generación de más individuos de esa especie, y el paso de sus genes a la siguiente generación. Aunque a priori este puede parecer el objetivo principal de los individuos, también podría dar lugar a un problema de superpoblación. Si se acumulan demasiados individuos similares en una misma zona, éstos competirían por los recursos, pudiendo llegar a agotarlos.

En este caso, hay un parámetro que puede influir de manera decisiva en los posibles resultados del estudio: la descendencia. Un valor equilibrado podría permitir un despliegue sostenido de los genes de un determinado grupo de individuos, mientras que un valor demasiado alto podría resultar en un problema de superpoblación, como se ha comentado. De cualquier manera, y para este ejemplo de estudio, se mantuvo la cuantía de ese parámetro al valor base utilizado en las demás pruebas.

A continuación se detallan los datos recogidos durante este estudio:

Especie	Lujuria	Individuos generados	Turnos sobrevividos
Bichos	0,75	28,92%	73,43%
Lemmings	0,5	27,76%	76,91%
Critters	0,25	43,32%	82,47%

Tabla 5.7 Experimentación de la lujuria



Figura 5.7.1 Individuos generados – lujuria

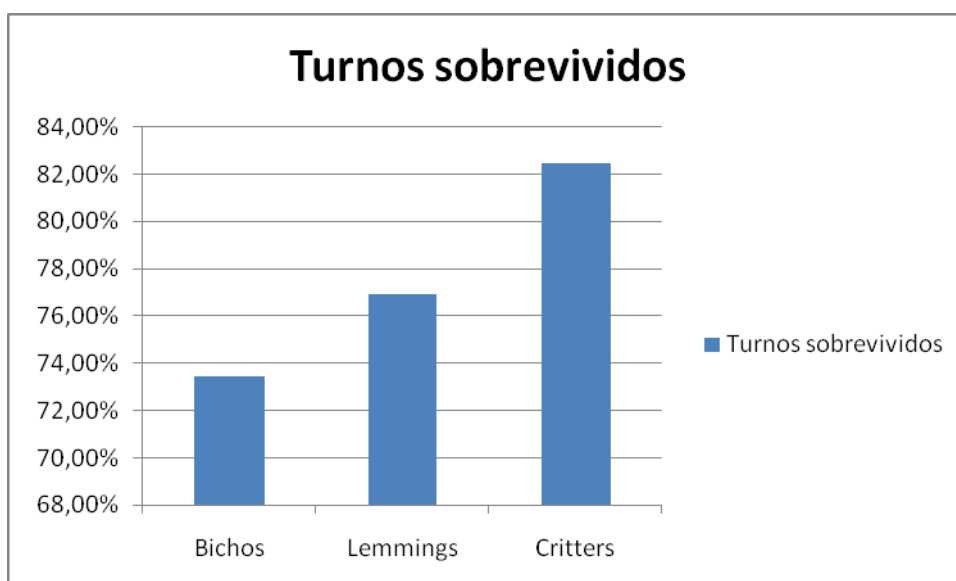


Figura 5.7.2 Turnos sobrevividos generados – lujuria

Dada la similitud de los valores alcanzados, no podemos concluir claramente que ninguna configuración tenga ventaja sobre las demás. Llama la atención el hecho de que, bajo un valor más pequeño de este parámetro, el número de individuos generados sea mayor, además de una ligera superioridad en lo que a longevidad de la especie se refiere. Esto puede deberse al mencionado efecto de “superpoblación”; mientras las otras dos especies copaban los recursos, llegando a un límite en el que la activación de una alarma por hambre les hacía ignorar la posible lujuria que sintiesen, un desarrollo sostenido en

nichos de la tercera especie le permitía reproducirse de manera contenida pero constante, resultando a la larga en un mayor número de individuos generados durante la simulación.

#### 5.2.2.4. Sociabilidad

Los individuos de una misma especie se mueven en torno a un centro de masas calculado según el liderazgo y la posición de sus integrantes. Sin embargo, la manera en que realizan esta acción viene dada por la sociabilidad. Un valor alto indica que los individuos tenderán a acercarse a dicho centro, siendo así más fácil interactuar con individuos de su misma especie. Por el contrario, un valor bajo haría que se dispersasen.

Ambos comportamientos tienen sus ventajas y desventajas. Tener cerca a individuos de tu misma especie incidirá positivamente en tus posibilidades de reproducción, pero al mismo tiempo tendrás cerca a entidades con necesidades similares a las tuyas, con lo cual podría crear una cierta competencia entre individuos de la misma especie. Por el contrario, un aislamiento de los individuos haría difícil la tarea de la reproducción entre los mismos, pero la dispersión también puede ser positiva; si los miembros de una especie llegan a más sitios, hay más probabilidades de encontrar un lugar donde los recursos permitan crear un nicho en el que el desarrollo sea sostenible.

Como en los demás casos, se ignoraron los posibles efectos de distintas configuraciones para los demás parámetros, partiendo las especies estudiadas en igualdad de condiciones. La única diferencia consistía en los valores dados para la sociabilidad; como siempre, encontramos tres configuraciones (alto, medio y bajo). Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Especie	Sociabilidad	Individuos generados	Turnos sobrevividos
Bichos	0,75	69,86%	83,93%
Lemmings	0,5	23,94%	43,57%
Critters	0,25	6,20%	24,27%

Tabla 5.8 Experimentación de la sociabilidad





Figura 5.8.1 Individuos generados – sociabilidad

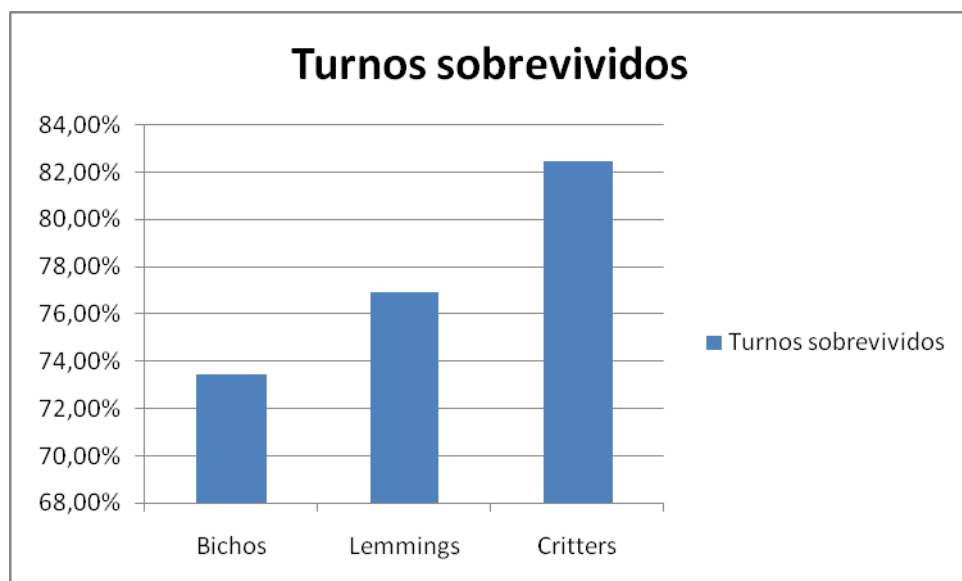


Figura 5.8.2 Turnos sobrevividos – sociabilidad

Estos resultados nos permiten afirmar que, en el ámbito de este estudio, una alta sociabilidad mejor sustancialmente las posibilidades de supervivencia de una especie. Se puede observar, tanto por el porcentaje de individuos generados como por la longevidad de la especie, que la interacción entre los miembros de la misma es básica para sostenerse en el entorno proporcionado para la simulación. El aislamiento de los individuos de la tercera especie, como resultado de su baja sociabilidad, les llevó a no encontrar casi

nunca parejas con las que reproducirse, siendo así difícil para ellos transmitir sus genes a generaciones futuras y resultando finalmente en la extinción.

#### **5.2.2.5. Pereza**

Todas las acciones posibles que puede realizar un individuo se pueden ver impedidas, en un momento dado, por la pereza. Un valor alto haría que, frecuentemente, los individuos permaneciesen inmóviles, sin hacer nada. Esta inactividad se podría ver interrumpida por la activación de alguna alarma. Dicho de otra manera: los individuos actuarían sólo cuando fuese necesario.

Una ventaja que tendría este comportamiento sería la gestión de las energías de los individuos. Si se esforzasen demasiado, la fatiga podría impedirles moverse cuando necesitasen de verdad alimentarse o huir de un depredador, entre otros posibles casos.

Por supuesto, además de otros parámetros del individuo, las situaciones particulares influirían en la efectividad de esta estrategia. En cualquier caso, para esta prueba nos basamos en 3 posibles valores para el parámetro mencionado: alto, medio y bajo. Los resultados conseguidos con tales configuraciones se muestran en la siguiente tabla:

<b>Especie</b>	<b>Pereza</b>	<b>Individuos generados</b>	<b>Turnos sobrevividos</b>
Bichos	0,75	32,05%	67,05%
Lemmings	0,5	36,89%	67,90%
Critters	0,25	31,06%	62,28%

Tabla 5.9 Experimentación de la pereza



Figura 5.9.1 Individuos generados – pereza

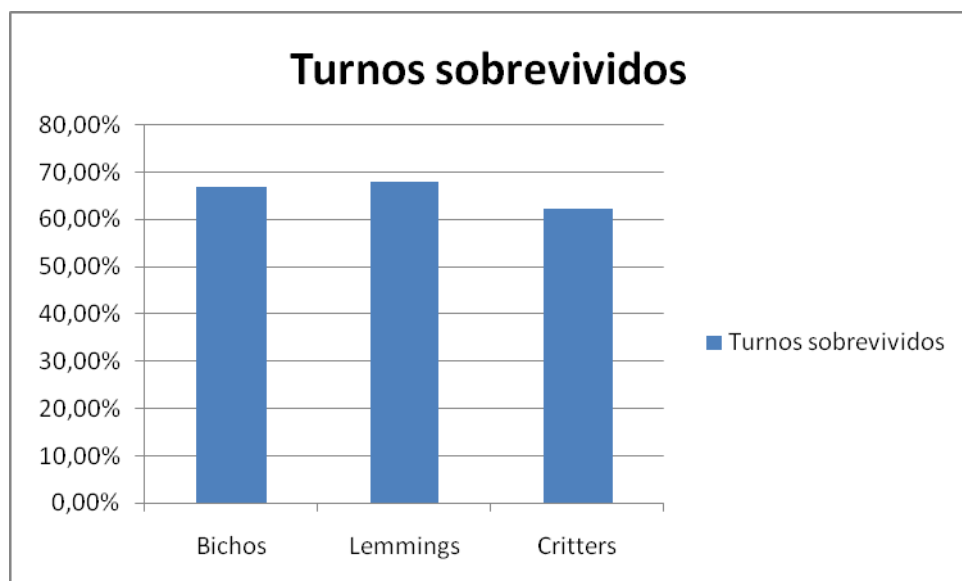


Figura 5.9.2 Turnos sobrevividos – pereza

Los valores obtenidos por las tres especies son demasiado parejos como para decantarse por una configuración específica. Así pues, en este estudio no podemos concluir que el valor de la pereza tenga un impacto significativo en la supervivencia de los animales que pueblan el mundo establecido para la simulación.

#### 5.2.2.6. Liderazgo

Como ya se ha comentado previamente, la forma en la que se mueven los individuos se calcula en torno a un centro de masas establecido por la posición de los individuos y su valor de liderazgo.

Dado que, salvo mutaciones, los individuos tienen una configuración similar de partida, podría parecer a priori que el tener un valor alto o bajo de este parámetro podría no tener incidencia en la experimentación. Sin embargo, es precisamente la mutación la que se vería afectada por este gen; un valor alto daría poco margen de aumento a las posibles mutaciones de los individuos, siendo las únicas modificaciones probables a la baja. Los individuos afectados por tales mutaciones tendrían menos significancia a la hora de calcular el centro de masas de la especie. Por el contrario, un valor bajo haría que las posibles mutaciones tendieran al alza, resultando los individuos mutados más decisivos en dicho cálculo.

De cualquier manera, presuponer efectos sobre algo tan aleatorio como pueden ser las mutaciones resulta demasiado vano, por lo que habrá que remitirse a los resultados de la experimentación para intentar sacar conclusiones. En dichas pruebas no se tuvo en cuenta la incidencia de la sociabilidad, principal afectada por la situación del centro de masas. Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

Especie	Liderazgo	Individuos generados	Turnos sobrevividos
Bichos	0,75	37,61%	88,08%
Lemmings	0,5	29,36%	71,85%
Critters	0,25	33,04%	76,40%

Tabla 5.10 Experimentación del liderazgo



Figura 5.10.1 Individuos generados – liderazgo

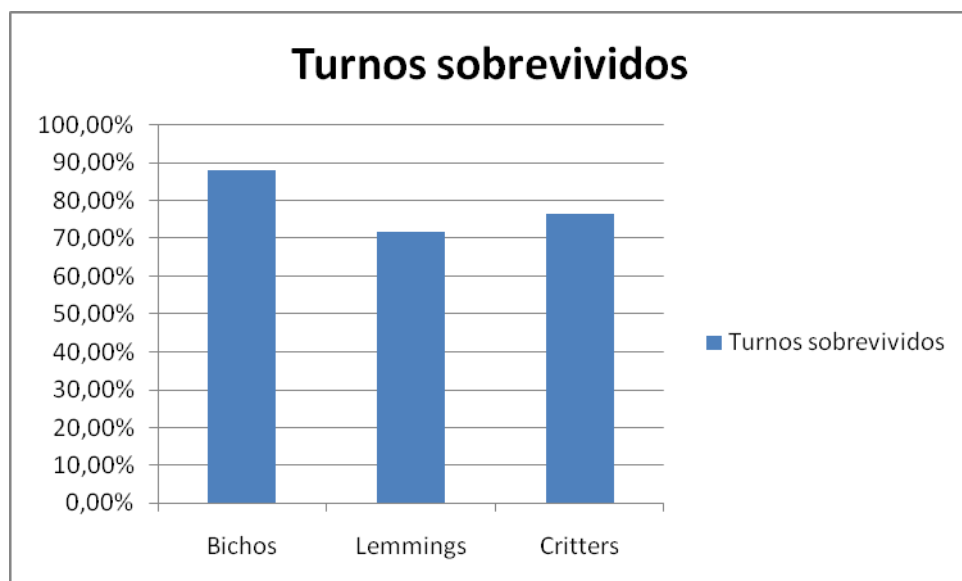


Figura 5.10.2 Turno sobrevividos – liderazgo

Como era de esperar, los resultados de esta prueba no son para nada concluyentes. Haría falta un estudio más complejo, que envolviese tanto la sociabilidad como otros factores, para determinar la incidencia de los posibles valores iniciales para el liderazgo de los individuos.

#### **5.2.2.7. Valentía**

Un aspecto fundamental para la supervivencia de los individuos son las alarmas. Dichas alarmas se activan cuando una determinada necesidad (i.e. hambre, fatiga) están desatendidas, y llaman inmediatamente la atención del individuo.

Aparte de la prioridad que el individuo pueda dar a unas alarmas frente a otras, también existe la posibilidad de que las ignore por completo durante un determinado espacio de tiempo. Dicho espacio viene determinado por el parámetro conocido como la valentía.

Esta acción permite al individuo concentrarse en lo que realmente le indican sus instintos, frente a lo que le exige su cuerpo. Evitar que las necesidades nublen el juicio de los animales puede en ocasiones resultar beneficioso, pero ignorarlas durante demasiado tiempo puede ser fatal.

Un parámetro a incluir en un estudio más profundo sería la resistencia, dado que proporciona al individuo mayor o menor margen de acción frente a las urgencias que le puedan surgir. Para este estudio, nos basamos como siempre en tres valores para el parámetro estudiado. La siguiente tabla muestra los resultados de la última batería de pruebas realizada:

Especie	Valentía	Individuos generados	Turnos sobrevividos
Bichos	0,75	40,60%	72,85%
Lemmings	0,5	28,47%	53,69%
Critters	0,25	30,93%	82,01%

Tabla 5.11 Experimentación de la valentía



Figura 5.11.1 Individuos generados – valentía

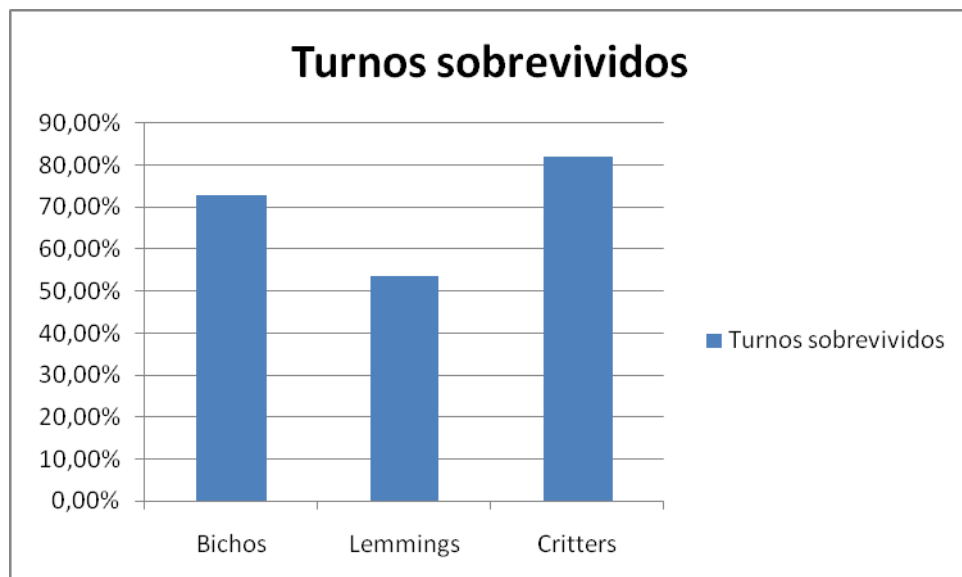


Figura 5.11.2 Turno sobrevividos – valentía

En vista de estos resultados, es difícil decantarse por una de las opciones dadas. Parece, sin embargo, que la decisión se ve recompensada frente a la duda; los valores

extremos (alto y bajo) resultan favorecidos frente al valor medio, siendo la especie con un comportamiento más inconsistente la que tiene menos posibilidades de sobrevivir.



## **6 Conclusiones y futuro**

La intención de este proyecto era diseñar e implementar un simulador en tres dimensiones que representase con cierta fidelidad un ecosistema, de una manera vistosa. Ambos objetivos fueron cumplidos satisfactoriamente, dado que se consiguió una aplicación vistosa, además de unos resultados coherentes.

Se consiguió implementar un sistema multiagente en el que conviviesen individuos de distintas especies, interactuando con entidades vegetales colocadas en su entorno, además de entre sí mismos. Este tipo de interacciones se dio tanto en casos de competencia como de colaboración, como se darían en un ecosistema real.

A lo largo de la experimentación se pudieron observar hechos interesantes. Al principio, las especies perecían de manera demasiado rápida, por lo que estudiamos las posibles causas de una mortalidad tan elevada. Al observar que la mayoría morían por hambre, nos dimos cuenta de que debíamos incrementar la presencia de la vegetación en el mundo. De esta manera, los individuos vivían lo suficiente para relacionarse con otros de su misma especie, y así dar lugar a nueva generaciones.

Posteriormente, nos llamó la atención el hecho de que, para sobrevivir, los individuos de una misma especie se agrupaban en nichos. Dichos grupos se formaban siempre en torno a un bosque o cúmulo de entidades vegetales, lo que podríamos considerar un oasis de recursos. Dichas agrupaciones favorecían las tareas de reproducción de los individuos, además de contar con ventajas como la vacilación de posibles depredadores a acercarse al grupo, ya que entre ellos puede haber un individuo con una fuerza elevada. De este aspecto podemos concluir que, por encima de los demás parámetros, la sociabilidad tiene un impacto fundamental en las probabilidades de supervivencia de una especie, como en el mundo real.

Sin embargo, la aproximación pudo haber sido más profunda, lo que quedaría fuera del ámbito y la ambición del proyecto, pero que deja una puerta abierta ante un futuro desarrollo.

Si hablamos de posibles ampliaciones partiendo del simulador implementado, las pruebas nos dan una muestra de las posibilidades del simulador. Con un análisis más profundo, y un modelado más detallado tanto del entorno como de las entidades que en él residían. Con un desarrollo lo suficientemente avanzado, podrían simularse entornos reales que permitiesen estudiar los efectos de ciertos eventos en ecosistemas dados. La aplicación de los resultados en campos como la ecología o la biología podría significar una ayuda importante en estos campos.

En cualquiera de los dos casos, un desarrollo más profundo y ambicioso permitiría optimizar la aplicación aumentando sus posibilidades. El avance más claro sería implementar un sistema más paralelizado, que aprovechara las capacidades multihilo de los procesadores de hoy en día, acelerando así la ejecución de cada turno.

En resumen, hemos conseguido desarrollar un simulador que cumple su cometido, y que podría servir como base para proyectos más ambiciosos que el que aquí se recoge.